Министерство сельского хозяйства
Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Самарский государственный
аграрный университет»

О. Н. Беришвили, Н. Н. Мосина, Д. В. Миронов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В АГРОИНЖЕНЕРИИ

Методические указания для практических занятий

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 00EED49E686F52A47CCBB285994C6650C3
Владелец: Герасименко Вадим Владимирович
Действителен: с 01.12.2025 до 24.02.2027

Кинель
РИО Самарского ГАУ
2019

УДК 519.2
ББК 74.58
Б48

Беришвили, О. Н.

Б48 Моделирование технических систем в агроинженерии : методические указания / О. Н. Беришвили, Н. Н. Мосина, Д. В. Миронов. – Кинель : РИО Самарского ГАУ, 2019. – 57 с.

Методические указания включают теоретические положения, примеры решения типовых задач. Учебное издание предназначено для магистрантов, обучающихся по направлению подготовки 35.04.06 Агроинженерия всех форм обучения.

© ФГБОУ ВО Самарский ГАУ, 2019
© Беришвили О. Н., Мосина Н.Н.,
Миронов Д.В., 2019

Предисловие

Предлагаемые методические указания подготовлены в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования и программой курса «Моделирование технических систем в агроинженерии» для магистрантов, обучающихся по направлению подготовки Агроинженерия.

Цель – формирование у обучающихся комплекса компетенций, соответствующих направлению их подготовки, и необходимых для эффективного решения будущих профессиональных задач.

Методические указания для практических занятий «Моделирование технических систем в агроинженерии» содержат основные положения теории, формулы и определения базовых понятий данной дисциплины. Приводятся подробные решения типовых задач, поясняющих теоретический материал и способствующих более глубокому его пониманию; контрольные вопросы, позволяющие закрепить приобретенные на практических занятиях навыки решения задач и оценить степень подготовленности по теме; список рекомендуемой литературы.

Материалы издания найдут применение в дисциплинах профессионального цикла, изучаемых магистрами, могут быть использованы аспирантами, преподавателями и специалистами сельского хозяйства.

Занятие 1. Практическое использование теории размерностей. Метод размерностей

Цель занятия: закрепление теоретических знаний по соответствующей теме; формирование навыков и умений по практическому применению метода размерностей.

Величины, численное значение которых зависит от системы единиц измерения, называются *размерными* или *именованными* величинами.

Величины, численное значение которых не зависит от применяемой системы единиц измерения, называются *безразмерными* или *отвлеченными*.

Размерные физические величины связаны между собой определенными соотношениями. Если некоторые из этих величин принять за основные и установить для них единицы измерения, то единицы измерения всех стальных величин будут определенным образом выражаться через единицы измерения основных величин.

Принятые для основных величин единицы измерения называются *основными* или *первичными*, а все остальные – *производными* или вторичными. На практике наиболее распространенной является Международная система единиц СИ (метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, моль). Выражение производной единицы измерения через основные называется *размерностью*. О размерности можно говорить только применительно к определенной системе единиц измерения.

Производя математические действия над физическими величинами, мы производим их не только над числами, но и над размерностям. Отсюда следует, что:

– сложение физических величин возможно, только если их размерности совпадают;

– размерность любой физической величины представляет собой произведение возведенных в степень размерностей первичных величин. Например:

$$[Q] = [M]^{\mu}[L]^{\lambda}[T]^{\tau}, \qquad (1)$$

где [M], [L], [T] – соответственно размерности массы, длины и времени;

– размерности обеих частей равенства, отражающего некоторую физическую закономерность, должны быть одинаковы.

При переходе к новым основным единицам системы новая единица A' какой-либо производной величины A равняется ее прежней единице, умноженной на формулу размерности данной величины, в которую вместо основных единиц системы следует поставить отношения новых основных единиц к прежним.

$$[A'] = x^{\alpha} y^{\beta} z^{\gamma} A. \qquad (2)$$

Пример 1. Найти отношение единиц силы в системе СИ (ньютон) и системе СГС (дина).

Решение. Рассматриваем задачу, как замену основных единиц системы (см, г, с) новыми (м, кг, с) взятыми из системы СИ. Вычисляем отношения основных единиц той и другой системы:

$$x = \frac{1м}{1см} = 10^2, \quad y = \frac{1кг}{1г} = 10^3, \quad z = 1.$$

Полагаем $A' = 1H$, $A = 1дн$. Применяя формулу размерности силы $[F] = [M][L][T]^{-2}$, находим

$$1H = 10^2 \cdot 10^3 \cdot 1^{-2} = 10^5 дн.$$

Теория размерности основана на двух положениях:

– отношение двух численных значений какой-либо производной величины не зависит от выбора масштабов для основных единиц измерения;

– всякое соотношение между некоторым числом размерных величин, характеризующих данное физическое явление, можно представить в виде соотношения между меньшим числом безразмерных комбинаций, составленных из этих величин (π-теорема)

Метод размерностей используют в тех задачах, где из-за большого числа переменных и сложности уравнений, описывающих явление, аналитическое решение невозможно. В этом случае для отыскания нужных зависимостей проводят эксперимент. Результаты эксперимента обрабатывают с помощью безразмерных комбинаций параметров задачи, которые позволяет выделить метод размерностей.

Пусть имеется группа из N физических величин, между которыми по предположению имеется взаимозависимость. Размерности этих N величин выражаются через K размерностей основных единиц размерности ($K<N$). Будем составлять из имеющихся N величин безразмерные комбинации. Если N-K=1, такая комбинация единственная, и она определяет решение (искомую взаимосвязь).

Пример 2. Пусть имеется резиновый шнур, натянутый с силой F между двумя опорами, находящимися на расстоянии l (рис. 1). Масса шнура m. Требуется найти скорость v распространения волн по шнуру.

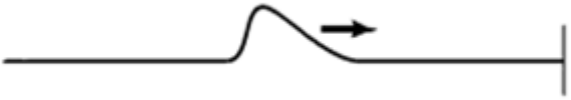


Рис.1

Задача сводится к нахождению зависимости вида:

$$v = \varphi(F, l, m)$$

Будем искать эту зависимость в наиболее общем виде:

$$v \cdot F^{\alpha} \cdot l^{\beta} \cdot m^{\gamma} = Const, \qquad (3)$$

где Const – безразмерная величина, т.е. содержит все основные единицы в нулевой степени.

Выпишем размерность входящих в (3) физических величин:

$$[v] = м \cdot с^{-1}, \quad [l] = м, \quad [m] = кг, \quad [F] = кг \cdot м \cdot с^{-2}.$$

В нашем случае N=4, K=3, N-K=1, т.е. комбинация вида (3) единственная**.**

Подставим размерности v, F, l и m в искомую зависимость:

$$м \cdot с^{-1} \cdot кг^{\alpha} \cdot м^{\alpha} \cdot с^{-2\alpha} \cdot м^{\beta} \cdot кг^{\gamma} = const = м^0 \cdot с^0 \cdot кг^0;$$

$$м^{1+\alpha+\beta} \cdot с^{-1-2\alpha} \cdot кг^{\alpha+\gamma} = м^0 \cdot с^0 \cdot кг^0$$

Равенство (3) может выполняться, только при условии:

$$\begin{cases} 1+\alpha+\beta = 0 \\ -1-2\alpha = 0, \quad откуда \quad \alpha = -\dfrac{1}{2}, \quad \beta = -\dfrac{1}{2}, \quad \gamma = \dfrac{1}{2}. \\ \alpha+\gamma = 0 \end{cases}$$

Подставляя найденные значения в (1а) получим:

$$v = const\sqrt{\frac{F \cdot l}{m}}.$$

Полученная формула определяет искомый вид аналитической зависимости. Значение постоянной определяют экспериментально.

В случае, когда N-K>1, используют прием введения направленных (векторных) единиц длины или привлекают дополнительные физические соображения.

С помощью метода размерностей можно не только получать аналитические выражения, связывающие физические величины, но и получать численные оценки исследуемых величин, отталкиваясь от того обстоятельства, что коэффициенты пропорциональности в получаемых выражениях имеют величину порядка единицы.

Задания для самостоятельного решения

1. Найти соотношение единиц работы в системе СИ (джоуль) и системе СГС (эрг).
2. Оценить максимальное статическое давление, которое можно получить в лаборатории, используя метод размерностей.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте основные положения теории размерности.
2. В чем заключается практическое применение теории размерности?
3. В чем заключается суть метода размерности?
4. По каким формулам осуществляется переход от одной системы единиц к другой?

Занятие 2. Основные положения теории подобия

Цель занятия: закрепление теоретических знаний по соответствующей теме; формирование навыков и умений по практическому применению основных положений теории подобия.

Теория подобия является эффективным средством исследования технических объектов Ее методы позволяют сократить размерность задачи, сделать результаты исследования более наглядными; выбрать оптимальные значения геометрических, силовых и других параметров машин. Теория подобия лежит в основе организации, проведения эксперимента и обработки его результатов.

Если соответствующие пары величин характеризуют процессы одинаковой физической природы, то имеет место *физическое подобие* систем. Если между соответствующими изменяющимися величинами имеется пропорциональность, но эти величины имеют различную природу, то говорят о *математическом подобии*, или об аналогии.

Метод подобия – это метод решения физических и технических задач, в котором исследуемое явление описывается не обычными размерными величинами, а безразмерными комплексами – критериями подобия, что позволяет изучать целые группы подобных между собой явлений. Критерии подобия могут быть получены для любого процесса, если известны уравнения, описывающие этот процесс, или с помощью теории размерностей. Критерии подобия определяют правила переноса результата эксперимента с моделей на оригинал.

Основу теории подобия составляют три теоремы подобия.

Первая теорема подобия. У подобных явлений критерии подобия численно одинаковы.

В соответствии с первой теоремой подобия при проведении эксперимента необходимо измерять параметры, входящие в критерии подобия.

Вторая теорема подобия. Любое уравнение физического явления, записанное в определенной системе единиц, может быть представлено функциональной зависимостью между критериями подобия, полученными из участвующих в процессе параметров.

Из второй теоремы подобия следует, что результаты экспериментов необходимо обрабатывать в критериях подобия с определением критериального уравнения и пределов его применения.

Третья теорема подобия. Если граничные и начальные условия для одной системы соответственно равны граничным и начальным условиям другой системы, то процессы в обоих системах протекают подобным образом.

Третья теорема подобия формирует условия, необходимые и достаточные для практической реализации подобия. Полученные критериальные уравнения можно распространять на процессы, в которых подобны условия однозначности и определяющие критерии подобия численно равны.

Пример 3. При испытании на воде модели насадка, выходной диаметр которого $d_м$=30 мм, под статическим напором $H_м$=50 м получены расход $Q_м$=18л/с и средняя скорость в сжатом сечении струи $w_м$=30м/с. Каков должен быть выходной диаметр и насадка в натуре и под каким напором H он должен работать на воде, чтобы получить Q=100 л/с и w=60 м/с? Считать, что испытания модели произведены в зоне турбулентной автомодельности, поэтому коэффициенты истечения для модели и натуры одинаковы.

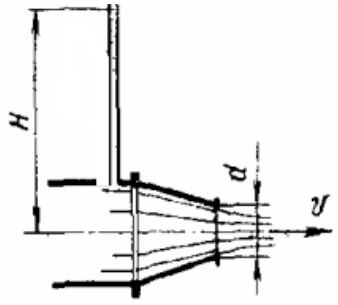


Рис 2. Модель насадки

Решение.

Расход через отверстие равен $Q = S \cdot \mu\sqrt{2gH} = w \cdot S$, где $w = \mu\sqrt{2gH}$.

Коэффициент расхода $\mu = \dfrac{w}{\sqrt{2gH}} = \dfrac{30}{\sqrt{2 \cdot 9{,}8 \cdot 50}} = 0{,}958.$

Тогда при скорости струи w = 60 м/с напор составит

$$H = \frac{w^2}{\mu^2 \cdot 2 \cdot 9{,}8} = \frac{(60)^2}{(0{,}958)^2 \cdot 2 \cdot 9{,}8} \approx 200\,(м).$$

Выходной диаметр насадка

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{w \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 100 \cdot 10^{-3}}{60 \cdot 3{,}14}} \approx 0{,}05(м).$$

Задания для самостоятельной работы

1. Определить критерии подобия механической и электрической цепей (рис. 3)

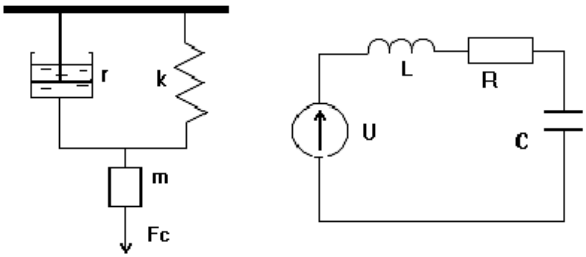


Рис 3. Механическая и электрическая цепи

2. Тонкая пластина длиной l_0=2 м и шириной a=1,5 м обтекается продольным потоком воздуха. Скорость и температура набегающего потока равны соответственно w_o=3 м/с; t_0 = 20°С. Температура поверхности пластины равна t_c=90 °С. Определить средний по длине коэффициент теплоотдачи и количество тепла, отдаваемое пластиной воздуху.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение критерия подобия.
2. Приведите примеры критериев подобия.
3. В каком случае применяется теория подобия?
4. Сформулируйте теоремы подобия.

Занятие 3. Построение планов ПФЭ. Обработка результатов двухфакторного и трехфакторного экспериментов

Цель занятия: закрепление теоретических знаний по соответствующей теме; формирование навыков и умений по построению и обработке результатов двухфакторного и трехфакторного ПФЭ.

Планирование эксперимента – это процедура выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для получения математической модели процесса.

Фактор – переменная величина, принимающая в некоторый момент времени определенное значение. Фактор считается заданным, если известна его область определения – совокупность значений, которые он может принимать.

Факторы делят на *количественные (*время реакции, температура, концентрация реагирующих веществ и т.д*)* и *качественные* (разные вещества, технологические процессы, аппараты и т.п.).

Когда в эксперименте участвуют несколько факторов одновременно, он называется факторным. Реализация многофакторных экспериментов – задача трудоемкая и дорогостоящая. Уменьшение числа опытов обеспечивается отказом от серии однофакторных экспериментов и проведением единого многофакторного эксперимента при одновременном варьировании всех факторов. Примером такого эксперимента является *полный факторный эксперимент.*

Полный факторный эксперимент (ПФЭ) – это система опытов, при которой реализуются все возможные, неповторяющиеся комбинации уровней факторов.

В общем случае планирование и обработку результатов ПФЭ можно разбить на следующие этапы.

1. Кодирование факторов

С целью выравнивания размерностей факторов при обработке результатов ПФЭ используется операция кодирования факторов – перевод натуральных значений факторов в безразмерную форму с вариацией их значений *от минус единицы до плюс единицы*.

Уровни факторов представляют собой границы исследуемой области по выбранному параметру (минимальное и максимальное значение фактора).

Зная максимальное $z_i^{\max}$ и минимальное $z_i^{\min}$ технологического параметра (фактора) можно определить координаты центра плана z_i^0, так называемый основной уровень, а также интервал (шаг) варьирования Δz_i:

$$z_i^0 = \frac{z_i^{\max} + z_i^{\min}}{2}, \quad z_i = \frac{z_i^{\max} - z_i^{\min}}{2}, \text{ где } i = \overline{1,k}. \qquad (4)$$

От систем координат $z_1,\ldots, z_k$ необходимо перейти к новой безразмерной системе координат $x_1, \ldots, x_k$ с помощью линейного преобразования:

$$x_i = \frac{z_i - z_i^0}{\Delta z_i}, \text{ где } i = \overline{1,k}. \qquad (5)$$

В безразмерной системе координат верхний уровень фактора равен (+1), нижний уровень – (–1), основной уровень – 0.

Расположение экспериментальных точек в факторном пространстве для полного факторного эксперимента при k=2 показано на рисунке 4.

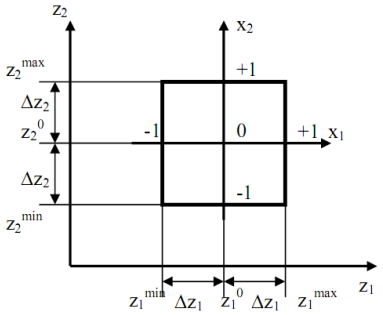


Рис.4 Полный факторный эксперимент 2^2

После этого можно приступать к составлению плана ПФЭ.

2. Построение планов полного факторного эксперимента

При составлении плана проведения экспериментальных исследований для каждого фактора выбирается определенное число уровней варьирования. Поэтому необходимое число опытов устанавливается числом возможных комбинаций уровней варьирования независимых переменных, а также количеством повторных опытов.

Количество опытов ПФЭ (без учета параллельных или повторных опытов) равно количеству неповторяющихся комбинаций уровней факторов:

$$N = p^k,$$

где p – число уровней, k – число факторов.

В большинстве случаев планирование экспериментов осуществляется на двух уровнях – верхнем (имеющему максимальное значение рассматриваемого фактора) и нижнем (соответствующему минимальному значению фактора). В этом случае необходимое число опытов определяется по формуле

$$N = 2^k,$$

где k – число факторов.

Так, двухфакторный ПФЭ базируется на 4 опытах, трехфакторный – на восьми, четырехфакторный – на шестнадцати и т.д.

План эксперимента удобно задавать таблицей, называемой матрицей планирования эксперимента, включающей в себя последовательность проведения опытов, значения факторов и эффектов и их взаимодействий, а также значения исследуемой функции. При этом должны быть исчерпаны все возможные значения комбинаций факторов, варьируемых на верхнем и нижнем уровнях.

На этапе планирования эксперимента заполняют таблицу соответствия натуральных и кодированных значений факторов, так называемую рабочую матрицу эксперимента. В первом опыте все факторы находятся на нижнем уровне, т.е. экспериментатор устанавливает их наименьшее значение из диапазонов их изменения. Во втором опыте первый фактор находится на верхнем уровне (принимает наибольшее значение из диапазона), а остальные факторы – на нижнем уровне и т.д.

Для двухфакторного эксперимента матрица планирования, имеющая четыре опыта, имеет вид (таблица 1).

Таблица 1

Матрица планирования двухфакторного ПФЭ

Номер опыта	Факторы в натуральном масштабе		Факторы в безразмерной системе координат			Выходной параметр
	z	z_2	x_0	x_1	x_2	y
1	z_1^{min}	z_2^{min}	+1	–1	–1	y_1
2	z_1^{max}	z_2^{min}	+1	+1	–1	y_2
3	z_1^{min}	z_2^{max}	+1	–1	+1	y_3
4	z_1^{max}	z_2^{max}	+1	+1	+1	y_4

Столбец с фиктивной переменной x_0 (все значения, которой равны «+1») вводится формально для расчета коэффициента b_0 в уравнении регрессии.

Рассматривая планы полного факторного эксперимента для двух и трех факторов, нетрудно установить общую определенную закономерность получения таких планов. В первом столбце матрицы для переменной x_1 знаки меняются в каждой строке, во втором столбце для переменной x_2 – через две строки, а для i – переменной знаки будут меняться через 2^i–1 строки.

Для трехфакторного эксперимента матрица планирования представлена в виде таблицы 2.

Таблица 2

Матрица планирования трехфакторного ПФЭ

Номер опыта	Факторы в натуральном масштабе			Факторы в безразмерной системе координат				Выходной параметр
	z	z_2	z_3	x_0	x_1	x_2	x_3	y
1	z_1^{min}	z_2^{min}	z_3^{min}	+1	–1	–1	–1	y_1
2	z_1^{max}	z_2^{min}	z_3^{min}	+1	+1	–1	–1	y_2
3	z_1^{min}	z_2^{max}	z_3^{min}	+1	–1	+1	–1	y_3
4	z_1^{max}	z_2^{max}	z_3^{min}	+1	+1	+1	–1	y_4
5	z_1^{min}	z_2^{min}	z_3^{max}	+1	–1	–1	+1	y_5
6	z_1^{max}	z_2^{min}	z_3^{max}	+1	+1	–1	+1	y_6
7	z_1^{min}	z_2^{max}	z_3^{max}	+1	–1	+1	+1	y_7
8	z_1^{max}	z_2^{max}	z_3^{max}	+1	+1	+1	+1	y_8

Матрица планирования эксперимента с несколькими параллельными опытами составляется аналогично.

Для определения коэффициентов взаимодействия факторов необходимо составить расширенную матрицу, включив в таблицу2 дополнительные столбцы – значения произведений факторов x_1x_2, x_1x_2, x_2x_3, $x_1x_2x_3$, учитывающих эффект двойного и тройного

взаимодействия факторов (таблица 3). Знаки этих столбцов получаются по правилу перемножения знаков соответствующих столбцов.

Таблица 3

Расширенная матрица планирования трехфакторного ПФЭ

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y
1	+1	–1	–1	–1	+	+1	+1	–1	y_1
2	+1	+1	–1	–1	–1	–1	+1	+1	y_2
3	+1	–1	+1	–1	–1	+1	–1	+1	y_3
4	+1	+1	+1	–1	+1	–1	–1	–1	y_4
5	+1	–1	–1	+1	+1	–1	–1	+1	y_5
6	+1	+1	–1	+1	–1	+1	–1	–1	y_6
7	+1	–1	+1	+1	–1	–1	+1	–1	y_7
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	y_8

3. *Расчет коэффициентов регрессии.* Математическими моделями объектов исследования, получаемыми в результате обработки ПФЭ, являются уравнения регрессии. В зависимости от числа изучаемых факторов, определяющих условия протекания процесса, можно записать уравнения регрессии для

двух факторов:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2, \qquad (6)$$

трех факторов:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \qquad (7)$$

k факторов:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^{k} b_i x_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^{k} b_{ij} x_i x_j + ... + \sum_{\substack{i,j...n=1 \\ i \neq j \neq ... \neq n}}^{k} b_{ijn} x_i x_j \cdot ... \cdot x_n. \qquad (8)$$

где x_i – значения факторов; b_0 – свободный член, равный выходу процесса при x=0; b_i – коэффициенты регрессии соответствующих факторов, указывающие на влияние того или иного фактора на изучаемый процесс; b_{ij} – коэффициенты регрессии при произведениях факторов, свидетельствующие о наличии двойного взаимодействия между факторами; b_{ijn} – коэффициенты регрессии, указывающие на тройное взаимодействие факторов.

Расчет линейных коэффициентов регрессии выполняется по следующим формулам

$$b_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} x_{ji} y_i. \qquad (9)$$

Эффекты взаимодействия определяются аналогично линейным эффектам:

$$b_{12} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_1x_2)_i y_i;\ \ b_{13} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_1x_3)_i y_i;$$

$$b_{23} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_2x_3)_i y_i;\ \ b_{123} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_1x_2x_3)_i y_i. \qquad (10)$$

При расчете коэффициентов регрессии используется следующее правило: суммируются средние арифметические значения результатов повторных опытов со знаками соответствующего столбца. Полученная сумма делится на число опытов ПФЭ. Для расчета b_0 используется столбец x_0, для расчета b_1 – столбец x_1, для расчета b_2 – столбец x_2, для расчета b_{12} – столбец x_{12} и т.д.

Коэффициенты уравнения регрессии определяются по методу наименьших квадратов, поэтому необходимо отметить, что экспериментальные данные должны быть однородными и нормально распределенными.

После нахождения величины коэффициентов регрессии записывается уравнение регрессии, и переходят к статистическому анализу уравнения регрессии.

Пример 4. Изучается напряжение при удлинении 300% (функция отклика у) типовой протекторной резины на основе 70% СКД и 30% СКИ-3 в зависимости от содержания (в вес. ч.) трех компонентов: серы (z_1), технического углерода (z_2) и пластификатора (z_3).

При исследовании влиянии серы, технического углерода и пластификатора были выбраны пределы измерения дозировок: для серы – 1,1-2,5 вес.ч., для технического углерода – 45-65 вес.ч., для пластификатора ПН-6 – 2-16 вес.ч.

Заполним рабочую матрицу трехфакторного ПФЭ (таблица 4)

Таблица 4

Рабочая матрица трехфакторного ПФЭ

Уровень факторов	Кодированное Значение факторов	Натуральные значения факторов		
		Сера, вес.ч. (x_1)	Технический углерод, вес.ч. (x_2)	Пластификатор ПН-6, вес.ч. (x_3)
Нижний	-1	1,1	45	2
Верхний	+1	2,5	65	16
Основной	0	1,8	55	9
Интервал	1	0,7	10	7

$$z_1^0 = \frac{1{,}1 + 2{,}5}{2} = 1{,}8; \quad z_2^0 = \frac{45 + 65}{2} = 55; \quad z_3^0 = \frac{2 + 16}{2} = 9;$$

$$\Delta z_1 = \frac{2{,}5 - 1{,}1}{2} = 0{,}7; \quad \Delta z_2 = \frac{65 - 45}{2} = 10; \quad \Delta z_3 = \frac{16 - 2}{2} = 7.$$

Подготовим и заполним матрицу планирования и обработки результатов трехфакторного ПФЭ (таблица 5).

Таблица 5

Матрица планирования и обработки результатов трехфакторного ПФЭ

Номер опыта	Факторы в натуральном масштабе			Факторы в безразмерной системе координат				Выходной параметр
	z_1	z_2	z_3	x_0	x_1	x_2	x_3	y
1	1,1	45	2	+1	–1	–1	–1	50
2	2,5	45	2	+1	+1	–1	–1	88
3	1,1	65	2	+1	–1	+1	–1	86
4	2,5	65	2	+1	+1	+1	–1	140
5	1,1	45	16	+1	–1	–1	+1	27
6	2,5	45	16	+1	+1	–1	+1	50
7	1,1	65	16	+1	–1	+1	+1	50
8	2,5	65	16	+1	+1	+1	+1	100

Выполним расчет линейных коэффициентов регрессии по формуле (9):

$$b_0 = \frac{1}{8}\sum_{i=1}^{8} y_i = \frac{1}{8}(50 + 88 + 86 + 140 + 27 + 50 + 50 + 100) = 73{,}875;$$

$$b_1 = \frac{1}{8}(-1 \cdot 50 + 1 \cdot 88 - 1 \cdot 86 + 1 \cdot 140 - 1 \cdot 27 + 1 \cdot 50 - 1 \cdot 50 + 1 \cdot 100) =$$

$$= 20{,}625;$$

$$b_2 = \frac{1}{8}(-1 \cdot 50 - 1 \cdot 88 + 1 \cdot 86 + 1 \cdot 140 - 1 \cdot 27 - 1 \cdot 50 + 1 \cdot 50 + 1 \cdot 100) =$$

$$= 20{,}125;$$

$$b_3 = \frac{1}{8}(-1 \cdot 50 - 1 \cdot 88 - 1 \cdot 86 - 1 \cdot 140 + 1 \cdot 27 + 1 \cdot 50 + 1 \cdot 50 + 1 \cdot 100) =$$

$$= -17{,}125.$$

Рассчитаем коэффициенты парного взаимодействия. Для этого

составим расширенную матрицу планирования и обработки результатов трехфакторного ПФЭ (таблица 6).

Таблица 6

Расширенная матрица планирования и обработки результатов трехфакторного ПФЭ

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	y
1	+1	–1	–1	–1	+	+1	+1	–1	50
2	+1	+1	–1	–1	–1	–1	+1	+1	88
3	+1	–1	+1	–1	–1	+1	–1	+1	86
4	+1	+1	+1	–1	+1	–1	–1	–1	140
5	+1	–1	–1	+1	+1	–1	–1	+1	27
6	+1	+1	–1	+1	–1	+1	–1	–1	50
7	+1	–1	+1	+1	–1	–1	+1	–1	50
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	100

Рассчитаем коэффициенты, используя формулы (10):

$$b_{12} = \frac{1}{8}\sum_{i=1}^{8} x_1 x_2 y_i = \frac{1}{8}(+1\cdot 50 - 1\cdot 88 - 1\cdot 86 + 1\cdot 140 + 1\cdot 27 - 1\cdot 50 -$$

$$-1\cdot 50 + 1\cdot 100) = 5{,}375;$$

$$b_{13} = \frac{1}{8}\sum_{i=1}^{8} x_1 x_3 y_i = \frac{1}{8}(+1\cdot 50 - 1\cdot 88 + 1\cdot 86 - 1\cdot 140 - 1\cdot 27 + 1\cdot 50 -$$

$$-1\cdot 50 + 1\cdot 100) = -2{,}375;$$

$$b_{23} = \frac{1}{8}\sum_{i=1}^{8} x_2 x_3 y_i = \frac{1}{8}(+1\cdot 50 + 1\cdot 88 - 1\cdot 86 - 1\cdot 140 - 1\cdot 27 - 1\cdot 50 +$$

$$+1\cdot 50 + 1\cdot 100) = -1{,}875;$$

$$b_{123} = \frac{1}{8}\sum_{i=1}^{8} x_1 x_2 x_3 y_i = \frac{1}{8}(-1\cdot 50 + 1\cdot 88 + 1\cdot 86 - 1\cdot 140 + 1\cdot 27 - 1\cdot 50 -$$

$$-1\cdot 50 + 1\cdot 100) = 1{,}375.$$

Полученное уравнение регрессии трехфакторного ПФЭ:

$$y(x_1, x_2, x_3) = 73{,}875 + 20{,}625 x_1 + 20{,}125 x_2 - 17{,}125 x_3 + 5{,}375 x_1 x_2 -$$

$$- 2{,}375 x_1 x_3 - 1{,}875 x_2 x_3 + 1{,}375 x_1 x_2 x_3$$

Задания для самостоятельной работы

1. Получить математическую модель толщины упрочненного слоя в зависимости от температуры и времени выдержки детали при химико-термической обработке.

Диапазон изменения факторов: температура Т=1173…1373 К; время выдержки τ = 2…8 часов.

Таблица 7

Результаты параллельных опытов двухфакторного ПФЭ

№ опыта	y_1	y_2	y_3
1	0,11	0,12	0,13
2	0,67	0,70	0,61
3	0,39	0,34	0,41
4	1,06	1,08	1,07

2. Получить математическую модель нагрева трансмиссионного редуктора (превышение температуры масла над температурой окружающей среды) в зависимости от частоты вращения ведущего вала, времени непрерывной работы и объема залитого в него масла.

Диапазон изменения факторов: N=590…3830 об/мин; t=20…120 мин; W=2,5…4,5 л.

Таблица 8

Результаты параллельных опытов трехфакторного ПФЭ

№ опыта	y_1	y_2	y_3
1	4	6	5
2	50	48	52
3	15	16	14
4	77	79	81
5	10	8	9
6	58	58	55
7	20	21	19
8	112	110	108

3. Для изучения действия некоторых технологических факторов на прочность y (кг) сварки материалов были поставлены эксперименты по плану трехфакторного ПФЭ. В качестве факторов, влияющих на эту величину, были взяты следующие: z_1 – температура нагрева электрода, диапазон изменения: от 180 до 220^0C; z_2 – давление роликов, диапазон изменения: от 25 до 35 кг/см^2); z_3 – скорость продвижения материала, диапазон изменения: от 1.5 до 3 м/мин). Требуется построить уравнение регрессии, учитывая взаимодействия факторов, проверить полученную модель на адекватность и

произвести ее интерпретацию.

Таблица 9

Результаты параллельных опытов трехфакторного ПФЭ

№ опыта	y_1	y_2	y_3
1	508	504	588
2	212	254	226
3	380	360	370
4	280	260	290
5	850	845	860
6	638	656	640
7	850	748	728
8	652	642	598

Контрольные вопросы

1. В чем принципиальное отличие многофакторного эксперимента от серии однофакторных.
2. Назовите общую последовательность планирования и обработки результатов ПФЭ.
3. Для чего предназначена операция кодирования факторов: основные формулы; геометрическая интерпретация.
4. Что заносится в матрицу планирования и результатов ПФЭ?
5. Как составить расширенную матрицу планирования и результатов ПФЭ?
6. Запишите уравнения регрессии для двухфакторного и трехфакторного ПФЭ.
7. Запишите формулы расчета коэффициентов регрессии.

Занятие 4. Оценка статистической значимости коэффициентов регрессии. Интерпретация результатов ПФЭ. Перевод уравнения регрессии в натуральную форму

Цель занятия: закрепление теоретических знаний по соответствующей теме; формирование навыков и умений по оценке статистической значимости коэффициентов регрессии; интерпретации результатов ПФЭ и перевода уравнения регрессии в натуральную форму.

Для проверки значимости коэффициентов регрессии необходимо поставить дополнительные параллельные опыты для опреде-

ления дисперсии воспроизводимости. Если опытное значение функции отклика существенно отличается от расчетного, то делается вывод, что полученное уравнение регрессии неадекватно описывает изучаемое явление, и принимается решение о проведении следующей серии экспериментов (план ПФЭ достраивается до плана второго порядка).

Поскольку матрица полного факторного эксперимента является диагональной матрицей, то коэффициенты регрессии некоррелированы между собой, следовательно, значимость для каждого коэффициента в отдельности можно проверять по критерию Стьюдента.

Все коэффициенты уравнений определяются с одинаковой точностью:

$$S_{b_j} = \frac{S_{воспр}}{\sqrt{N}}. \qquad (11)$$

Если параллельные опыты проводились в центре плана, то дисперсия воспроизводимости $S_{воспр}$ определяется по следующей формуле:

$$S^2_{воспр} = \frac{\sum_{i=1}^{NN} (y_i^0 - \bar{y}^0)^2}{NN - 1}, \qquad (12)$$

где NN- количество параллельных опытов; $\bar{y}^0$ – среднее значение величины y, полученных при параллельных опытах; y_i^0 - значения, полученные при постановке каждого из дополнительных опытов в центре плана.

Расчетное значение критерия Стьюдента определяется по формуле:

$$t_j = \frac{|b_j|}{S_{b_j}}. \qquad (13)$$

Полученное значение критерия Стьюдента сравнивается с табличным значением для соответствующего уровня значимости. Если расчетное значение доверительного интервала меньше табличного, то данные коэффициенты при работе с моделью исключаются из уравнения регрессии.

После этого необходимо проверить адекватность полученного уравнения регрессии, используя критерий Фишера.

$$F = \frac{S^2_{ост}}{S^2_{воспр}}, \qquad (14)$$

где остаточная дисперсия рассчитывается по формуле:

$$S^2_{ост} = \frac{\sum_{i=1}^{N}(y_i - yr_i)^2}{N - L}, \qquad (15)$$

где L – число значимых коэффициентов в уравнении регрессии.

Расчетное значение критерия адекватности сравнивают с табличным значением при соответствующим уровне значимости. При этом, если расчетное значение меньше табличного, то полученное уравнение регрессии адекватно описывает эксперимент.

Интерпретация результатов полного факторного эксперимента

Интерпретацию модели можно производить только тогда, когда она записана в кодированных переменных, поскольку в этом случае на коэффициенты не влияет масштаб факторов, и мы можем по величине коэффициентов судить о степени влияния того или иного фактора. Чем больше абсолютная величина коэффициента, тем больше фактор влияет на отклик (изучаемый параметр). Следовательно, можно расположить факторы по величине их влияния. Знак «плюс» у коэффициента свидетельствует о том, что с увеличением значения фактора растет величина отклика, а при знаке «минус» – убывает.

Интерпретация результатов эксперимента, приведенного в примере 4.

При содержании серы 1,8 (вес.ч.), технического углерода 55 (вес.ч.), и пластификатора 9 (вес.ч.) (центр плана, все факторы на основном уровне) напряжение при удлинении 300% составляет 73,835 Па.

Содержание серы и технического углерода оказывает практически одинаковое влияние на напряжение протекторной резины при удлинении 300%. С увеличением их содержания напряжение возрастает. Увеличение содержания пластификатора оказывает немного меньшее, но уже отрицательное влияние, т.е. снижает напряжение).

Наблюдается взаимовлияние всех компонентов на измеряемый

параметр. Наиболее значимо соотношение серы и технического углерода. После него по силе влияния на отклик идут: взаимодействие серы и пластификатора; технического углерода и пластификатора; тройного взаимодействия всех компонентов.

Перевод уравнения регрессии в натуральную форму

Уравнения регрессии в кодированной форме неудобны в практическом использовании. Чтобы определить значение функции отклика, необходимо натуральные значения факторов сначала закодировать, а только затем подставить кодированные значения в уравнение регрессии.

Операция перевода уравнения регрессии в натуральную форму основывается на формуле для кодирования факторов (1.1). Так, например, для эксперимента, рабочая матрица которого представлена в таблице 1, выражения для кодирования факторов имеют вид:

$$x_1 = \frac{z_1 - 1{,}8}{0{,}7} \approx 1{,}43z_1 - 2{,}57, \quad x_2 = \frac{z_2 - 55}{10} = 0{,}1z_2 - 5{,}5,$$

$$x_3 = \frac{z_3 - 9}{7} \approx 0{,}14z_3 - 1{,}29.$$

Эти выражения подставляем в кодированное уравнение регрессии (7) и после арифметических преобразований получаем уравнение регрессии в натуральной форме.

При переходе к натуральным переменным коэффициенты уравнения изменяются, и в этом случае пропадает возможность интерпретации влияния факторов по величинам и знакам коэффициентов. Однако, если уравнение адекватно, то с его помощью можно определять значения исследуемой величины, не проводя эксперимента и придавая факторам значения, которые должны лежать между нижним и верхним уровнем.

Задания для самостоятельной работы

1. Дать интерпретацию моделей, полученных в результате планирования ПФЭ, по данным задач, выполненных на занятии 4.
2. Перевести уравнения регрессий, полученных при выполнении задач на занятии 4 в натуральную форму.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте принципы оценки статистической значимости коэффициентов регрессии.

2. Какие основные выводы можно сделать при интерпретации результатов ПФЭ:
3. Как осуществить перевод уравнения регрессии в натуральную форму?

Занятие 5. Распределение случайной величины. Описательная статистика

Цель занятия: закрепление теоретических знаний по соответствующей теме; формирование навыков и умений по построению вариационного ряда выборки и расчета параметров описательной статистики с помощью электронных таблиц Excel.

Основная характеристика случайной величины – это ее распределение. Для непрерывной величины это соответствие: интервал значений – частота (сколько значений в выборке попадает в этот интервал). Для дискретной величины: значение – частота (сколько раз это значение наблюдалось в выборке). График распределения для непрерывной величины – гистограмма, для дискретной – полигон. В Excel таблицу и гистограмму распределения непрерывной величины можно построить при помощи команды «Гистограмма» из надстройки «Пакет анализа».

Описательная статистика – это числовые параметры распределения случайной величины (их выборочные оценки). Это показатели положения (среднее, мода, медиана, квартили и т.д.), показатели разброса (стандартное отклонение, дисперсия), показатели формы распределения (ассиметрия и эксцесс).

В Excel для расчета используется команда «Описательная статистика» надстройки «Пакет анализа» или функции листа из категории «Статистические».

Пример 5. Имеются данные о сменной производительности труда 25 механизаторов (га): 41; 60; 56; 45; 68; 76; 65; 45; 70; 55; 60; 65; 62; 32; 50; 40; 40; 45; 60; 57; 50; 46; 56; 49; 55.

Данные удобнее располагать на листе Excel в столбце. Используем надстройку «Пакет анализа» (рис. 5).

Построение гистограммы и таблицы распределения.

В окне команды «Гистограмма» (рис. 6) необходимо указать:

Входной интервал – ссылка на диапазон ячеек, содержащий данные.

Интервал карманов – необязательный параметр, ссылка на

диапазон ячеек, который содержит набор граничных значений, определяющих отрезки (карманы), для которых рассчитывается частота. Если параметр не задан, отрезки создаются автоматически.

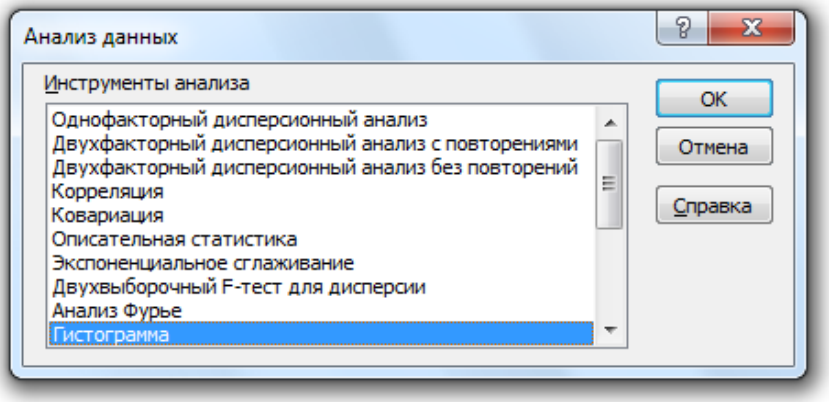


Рис. 5. Окно надстройки «Пакет анализа»

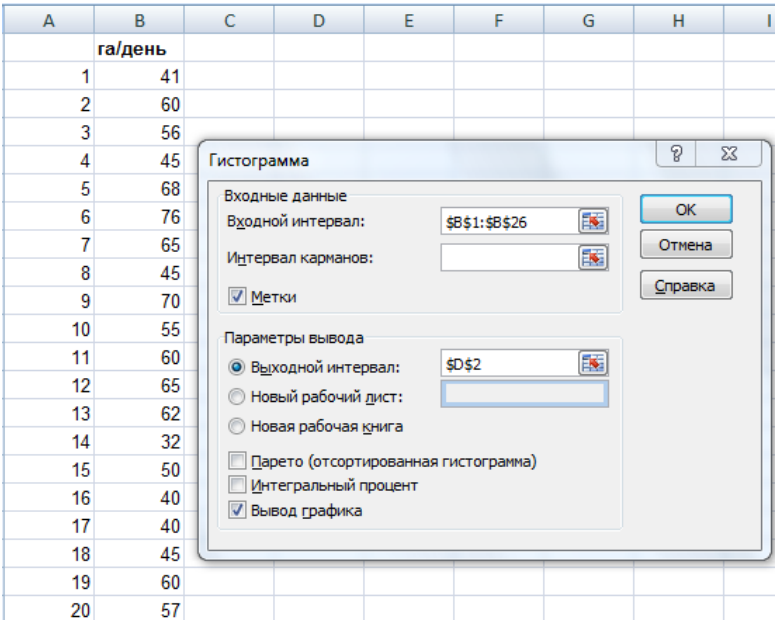


Рис. 6. Параметры команды «Гистограмма»

Метки – флажок устанавливается, если первая строка входного диапазона содержит заголовки.

Выходной интервал – ссылка на левую верхнюю ячейку выходного диапазона.

Вывод графика – флажок устанавливается для автоматического создания гистограммы.

Результат – таблица и гистограмма распределения (рис. 7).

Карман	Частота
32	1
40,8	2
49,6	6
58,4	7
67,2	6
Еще	3

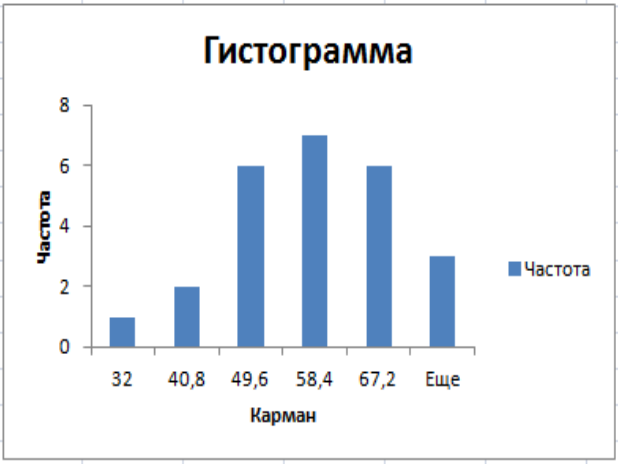


Рис. 7. Результат выполнения команды «Гистограмма»

Расчет параметров описательной статистики.

В окне команды «Описательная статистика» указываем:

Входной интервал – диапазон ячеек, содержащий данные (указан вместе со строкой заголовка).

Группирование - по столбцам. Исследуется один показатель, его значения расположены в столбец.

Метки в первой строке – флажок отмечен, так как во входной диапазон включена строка заголовка.

Выходной интервал – ссылка на левую верхнюю ячейку выходного диапазона (ячеку на свободном месте листа).

Итоговая статистика – флажок устанавливается для расчета основных параметров описательной статистики.

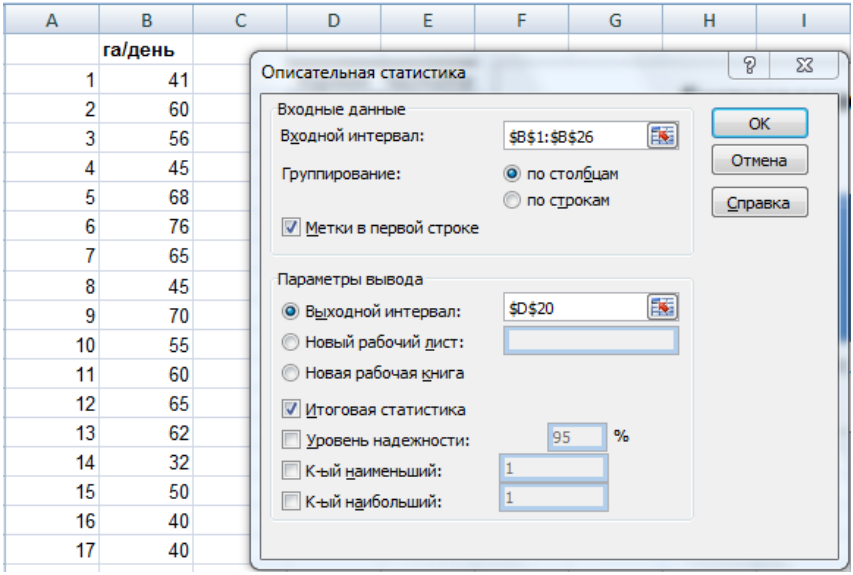


Рис. 8. Параметры команды «Описательная статистика»

Результаты, их описание и функции для их расчета приведены в таблице 10.

Таблица 10

Параметр	Значение	Описание	Функция
Среднее	53,92	Среднее значение выборки, основной показатель	СРЗНАЧ()
Стандартная ошибка	2,15	Ошибка вычисления среднего.	СТАНДОТКЛОН() / КОРЕНЬ(СЧЕТ())
Медиана	55	Середина диапазона выборки	МЕДИАНА()
Мода	60	Наиболее часто встречающееся значение выборки	МОДА()
Стандартное отклонение	10,75	Основной показатель разброса	СТАНДОТКЛОН()
Дисперсия выборки	115,74	Показатель разброса – квадрат стандартного отклонения.	ДИСП()

Параметр	Значение	Описание	Функция
Эксцесс	-0,45	Показатель формы распределения (остроты).	ЭКСЦЕСС()
Асимметричность	0,03	Показатель формы распределения (симметричности относительно среднего значения).	СКОС()
Интервал	44	Разность между максимальным и минимальным значениями	МАКС() – МИН()
Минимум	32	Минимальное значение выборки	МИН()
Максимум	76	Максимальное значение выборки	МАКС()
Сумма	1348	Сумма всех значений выборки	СУММ()
Счет	25	Объем выборки	СЧЕТ()

Задания для самостоятельной работы

По данным выборки построить таблицу и гистограмму распределения. Рассчитать параметры описательной статистики при помощи надстройки «Пакет анализа» и при помощи функций листа.

Выборка1. 8,7; 6,4; 6,0; 7,9; 6,5; 6,1; 8,4; 7,7; 5,4; 6,7; 7,7; 8,1; 6,7; 7,5; 9,4; 7,5; 8,2; 9,2; 9,8; 5,7; 6,9; 9,0; 7,1; 6,1; 6,3; 6,9; 6,5; 5,8; 9,4; 8,7.

Выборка2. 20; 15; 20; 15; 19; 19; 23; 26; 23; 20; 30; 16; 16; 10; 22; 19; 21; 23; 18; 25; 16; 22; 26; 15; 17; 18; 30; 27; 21; 11.

Контрольные вопросы

1. Что такое распределение случайной величины?
2. Что такое гистограмма и полигон?
3. Назовите основные числовые показатели распределения случайной величины.

Занятие 6. Проверка гипотез. Сравнение средних. Критерий Стьюдента

Цель занятия: закрепление теоретических знаний по соответствующей теме; формирование навыков и умений по применению критерия Стьюдента в электронных таблицах Excel.

Статистической гипотезой называется суждение о виде или параметрах распределения случайной величины. Чтобы сделать какой-либо вывод на основании выборочных данных, необходимо проверить соответствующую статистическую гипотезу. Для проверки используются статистические критерии.

Для сравнения двух величин по их выборочным средним используется критерий Стьюдента. Нулевая гипотеза H0: различий нет, выборки принадлежат одной генеральной совокупности. Альтернативная гипотеза H1: выборки различаются. Расчетное значение критерия сравнивается с критическим значением, которое выбирается из таблицы для нужного уровня значимости и числа степеней свободы. Если расчетное значение меньше критического, H0 принимается, иначе – принимается H1. Уровень значимости α (5% или 1%) – это вероятность ошибки первого рода – отвергнуть правильную нулевую гипотезу, обнаружить различия там, где их нет.

Для независимых выборок (2 технологии, машины и.т.п):

$$t = \frac{\overline{X}_1 - \overline{X}_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}; \quad m_{1,2} = \frac{\sigma_{1,2}}{\sqrt{n_{1,2}}} \tag{16}$$

t – расчетное значение критерия Стьюдента, $\overline{X}$ – среднее значение выборки, m – ошибка вычисления среднего, σ – стандартное отклонение выборки, n – объем выборки.

Используется команда «Двухвыборочный t-тест с одинаковыми дисперсиями» (или «Двухвыборочный t-тест с различными дисперсиями») из пакета анализа. Можно вычислить фактическое значение t по формулам, используя соответствующие функции: СРЗНАЧ, СТАНДОТКЛОН, а критическое значение рассчитать при помощи функции СТЬЮДРАСПОБР.

Для зависимых выборок (одни и те же данные до и после воздействия какого-либо фактора):

$$t = \frac{\bar{d}}{\sigma / \sqrt{n}}; \qquad (17)$$

$\bar{d}$ – среднее значение разностей значений выборок.

Пример 6. Проверить по критерию Стьюдента отличаются ли 2 агрегата по показателю качества работы? Проведено 9 испытаний для первого агрегата и 8 для второго (рис. 9).

Пусть известно, что дисперсии выборок одинаковые. В окне команды задаем ссылки на диапазоны ячеек с данными, уровень значимости 5% и ячейку выходного интервала (рис. 9).

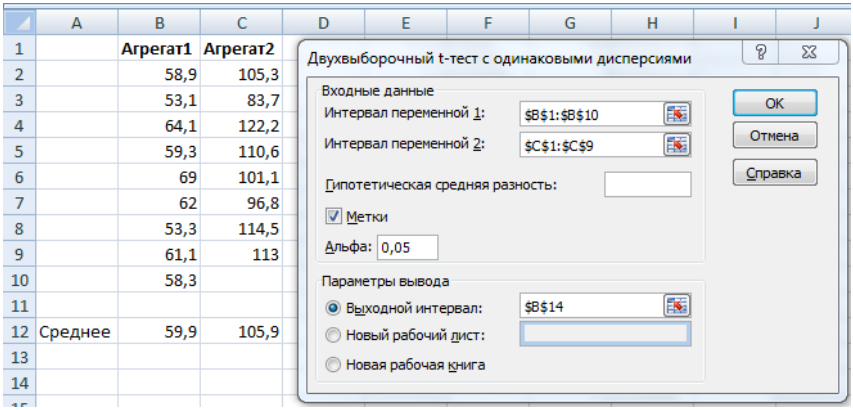


Рис. 9. Двухвыборочный t-тест с одинаковыми дисперсиями

Результат:

	Агрегат1	*Агрегат2*
Среднее	59,9	105,9
Дисперсия	25,0025	144,4571
Наблюдения	9	8
Объединенная дисперсия	80,748	
Гипотетическая разность средних	0	
df	**15**	
t-статистика	**-10,535**	
P(T<=t) двухстороннее	**2,51E-08**	
t критическое двухстороннее	**2,13145**	

Расчетное значение критерия (t-статистика) по абсолютной величине больше критического значения (t критическое двухстороннее), нулевая гипотеза отвергается, различия между выборками являются значимыми на уровне значимости 5%. P(T<=t) двухстороннее – это фактическая вероятность ошибки первого рода. df – число степеней свободы.

Задания для самостоятельной работы

Проверить гипотезу о равенстве средних 2-х независимых величин X1 и X2 на уровнях значимости 0,05 и 0,01.

Вариант1	X1	133	147	137	128	127	130	
	X2	142	133	141	150	137	124	137

Вариант2	X1	15	16	19	18	17	14	16	20	19
	X2	13	14	14	15	14	14	14	16	17

Определить, влияет ли фактор на результирующий признак, сравнив исходные данные и данные после воздействия фактора.

Вариант3	до	18	10	11	15	10	14	19	18	13	18
	после	12	11	9,5	12	10	12,5	13	17	14	16

Вариант4	до	34	50	60	30	35	50	60	31
	после	50	58	65	45	34	59	67	40

Контрольные вопросы

1. Что такое статистическая гипотеза?
2. Каков порядок проверки статистической гипотезы?
3. Чем отличается применение критерия Стьюдента для зависимых и независимых выборок?
4. Какие команды и функции Excel используются для проверки гипотезы по критерию Стьюдента?

Занятие 7. Проверка гипотез. Однофакторный и двухфакторный дисперсионный анализ

Цель занятия: закрепление теоретических знаний по соответствующей теме; формирование навыков и умений по проведению дисперсионного анализа с помощью электронных таблиц Excel.

Дисперсионный анализ применяется, когда необходимо по результатам наблюдений оценить влияние качественного (т.е. нечислового) фактора (или нескольких факторов) на результирующий признак.

В однофакторном дисперсионном анализе проверяется: влияет ли качественный фактор A, имеющий несколько уровней A_1, A_1,..., A_k, на величину X. Гипотеза H0: данные всех групп принадлежат одной генеральной совокупности, влияние фактора отсутствует. Проверка осуществляется по критерию Фишера:

Фактическое значение критерия: $F = \dfrac{D_{меж}}{D_{вн}}$.

$D_{вн} = \sum_{i=1}^{k} D_i \Big/ k$, D_i – дисперсия показатели в i-й группе, k – число групп.

$D_{меж} = \sum_{i=1}^{n} n_i \left(\overline{X}_i - \overline{X}_{общ}\right)^2 \Big/ (k-1)$, $\overline{X}_i, ..., \overline{X}_k$ – средние в группах, ni - число наблюдений в i-й группе, $\overline{X}_{общ}$ – общее среднее.

Если фактическое значение меньше критического, нулевая гипотеза принимается. Суть критерия в сравнении дисперсии внутри групп с межгрупповой дисперсией.

Двухфакторный дисперсионный анализ позволяет одновременно оценить влияние двух факторов на результирующий признак. Совместное влияние факторов не учитывается. Достаточно провести по одному испытанию дл каждого сочетания факторов. Для каждого фактора рассчитывается свое значение критерия Фишера.

В двухфакторном дисперсионном анализе с повторениями кроме влияния самих факторов оценивается также влияние их совместного действия. Для каждого сочетания факторов необходимо провести несколько испытаний (повторений). Значения критерия Фишера рассчитываются для каждого фактора и для их совместного действия.

Пример 7. *Однофакторный дисперсионный анализ*. Определить с уровнем 0,05 значимость различия в производительности 3-х ремонтных бригад.

Бригада1	**Бригада3**	**Бригада2**
13	15	12
14	13	10
15	14	11
14	13	9
16	16	13
13	14	11
20	12	12

Данные на листе расположим по столбцам. В окне команды «Однофакторный дисперсионный анализ» задаем диапазон ячеек входного интервала, уровень значимости и ячейку выходного интервала. Результат на рис. 10.

Однофакторный дисперсионный анализ

ИТОГИ

Группы	*Счет*	*Сумма*	*Среднее*	*Дисперсия*
Бригада1	7,00	105,00	15,00	6,00
Бригада3	7,00	97,00	13,86	1,81
Бригада2	7,00	78,00	11,14	1,81

Дисперсионный анализ

Источник вариации	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-Значение*	*F критическое*
Между группами	54,95	2,00	27,48	**8,57**	0,00	**3,55**
Внутри групп	57,71	18,00	3,21			
Итого	112,67	20,00				

Рис. 10. Результаты однофакторного дисперсионного анализа

Для уровня значимости 0,05 фактическое F = 8,57 больше критического F критическое = 3,55. Нулевая гипотеза об отсутствии различий должна быть отвергнута. Различия в производительность труда в бригадах значимы.

Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений. Определить на уровне значимости 0,05 зависит ли расход топлива от объема двигателя и от вида топлива.

	Потребление топлива на 1 км		
Объем двигателя, куб см	**Бензин1**	**Бензин2**	**Дизель**
1001-1500	9,3	8,9	6,5
1501-2000	9,4	9,1	7,1
>2000	12,6	9,8	9

Данные располагаем в таблице на листе Excel. В окне команды «Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений» задаем ссылку на входной интервал, уровень значимости (0,05) и указываем ячейку выходного интервала. Результат на рис. 11.

Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений

ИТОГИ	*Счет*	*Сумма*	*Среднее*	*Дисперсия*
1001-1500	3,00	24,70	8,23	2,29
1501-2000	3,00	25,60	8,53	1,56
>2000	3,00	30,40	10,13	5,37
Бензин1	3,00	31,30	10,43	3,52
Бензин2	3,00	27,80	9,27	0,22
Дизель	3,00	21,60	7,20	0,57

Дисперсионный анализ

Источник вариации	*SS*	*df*	*MS*	***F***	*P-Значение*	***F критическое***
Строки	6,26	2,00	3,13	**5,28**	0,08	**6,94**
Столбцы	16,09	2,00	8,04	**13,56**	0,02	**6,94**
Погрешность	2,37	4,00	0,59			
Итого	24,72	8,00				

Рис. 11. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа без повторений

Для строк F больше критического – объем двигателя влияет на расход топлива, для столбцов также F также больше критического значения – вид топлива влияет на расход.

Двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями. Оценить влияние уровня автоколебаний и степени нагревания на продолжительность работы подшипника. Для каждой пары факторов проведено по 3 испытания (повторности).

	Автоколебания	
Нагревание	**слабые**	**сильные**
Слабое	12	18
	24	28
	20	30
Сильное	26	101
	16	113
	30	80

В окне команды «Двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями» указываем входной интервал (диапазон ячеек, в котором расположена таблица с данными), число строк для выборки - это количество повторностей для каждой пары факторов (3), и ячейку выходного интервала. Результат на рис. 12.

Дисперсионный анализ						
Источник вариации	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-Значение*	*F критическое*
Выборка	4563,00	1,00	4563,00	**44,55**	0,00	5,32
Столбцы	4880,33	1,00	4880,33	**47,65**	0,00	5,32
Взаимодейс	3400,33	1,00	3400,33	**33,20**	0,00	5,32
Внутри	819,33	8,00	102,42			
Итого	13663,00	11,00				

Рис. 12. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа с повторениями

И для каждого из факторов и для их сочетания значение критерия Фишера больше критического на уровне значимости 0,05. Значит, факторы и их взаимодействие влияют на продолжительность работы подшипника.

Задания для самостоятельной работы

1) Определить с уровнем значимости 0,05 значимость различия трех агрегатов по производительности.

Вариант 1

Агрегат1	20	25	24	19	28	24	20	22
Агрегат2	18	15	20	19	14	16	15	14
Агрегат3	10	12	18	15	16	18	15	12

Вариант 2

Агрегат1	13	12	24	16	20	12	15
Агрегат2	18	15	20	22	14	16	15
Агрегат3	10	12	18	15	16	18	15

2) Влияют ли методика обслуживания и вид топлива на качество работы агрегата.

Вариант 1

	Методика1	Методика2	Методика3
Топливо1	71	90	85,3
Топливо2	78	92	89,1
Топливо3	80	96,7	98

Вариант 2

	Методика1	Методика2	Методика3
Топливо1	138	131	126
Топливо2	128	144	124
Топливо3	130	126	129
Топливо4	145	150	144

3) Влияют ли технология работы (3 варианта) и вид топлива (2 вида) на качество работы агрегата, каждой паре факторов соответствуют 4 агрегата (повторности).

Вариант 1

	Технология1	**Технология2**	**Технология3**
Вид А	120	142	134
	129	133	132
	137	110	127
	128	124	138
Вид Б	127	137	140
	130	150	139
	131	131	146
	132	141	144

Вариант 2

	Технология1	Технология2	Технология3
Вид А	144	140	140
	145	146	132
	144	136	142
	134	131	134
Вид Б	127	127	127
	138	122	126
	126	144	125
	122	122	124

Занятие 8. Анализ зависимостей. Корреляционный анализ

Цель занятия: закрепление теоретических знаний по соответствующей теме; формирование навыков и умений выполнения корреляционного анализа с помощью электронных таблиц Excel.

Парный коэффициент корреляции ($-1 \le r \le 1$) – это мера линейной зависимости между двумя случайными величинами.

Чем ближе к 1 абсолютная величина коэффициента корреляции, тем теснее линейная связь между величинами. Положительное значение коэффициента корреляции указывает на прямую линейную связь, отрицательное значение – на обратную. Малая величина коэффициента корреляции означает отсутствие линейной связи между величинами. При этом может иметь место другой вид зависимости.

Для расчета коэффициентов корреляции в Excel имеется функция КОРРЕЛ и команда «Корреляция» в надстройке «Пакет анализа».

Пример 8. *Проверка наличия линейной зависимости.*

Имеются данные наблюдений значений *Y* и *X*. При помощи корреляционного анализа проверить наличие линейной зависимости *Y* от *X*.

В ячейку вводим функцию КОРРЕЛ (категория «Статистические») при помощи кнопки «Вставка функции». Аргументы функции. Массив1 –диапазон, содержащий значения *X*. Массив2 – диапазон, содержащий значения *Y* (рис. 13).

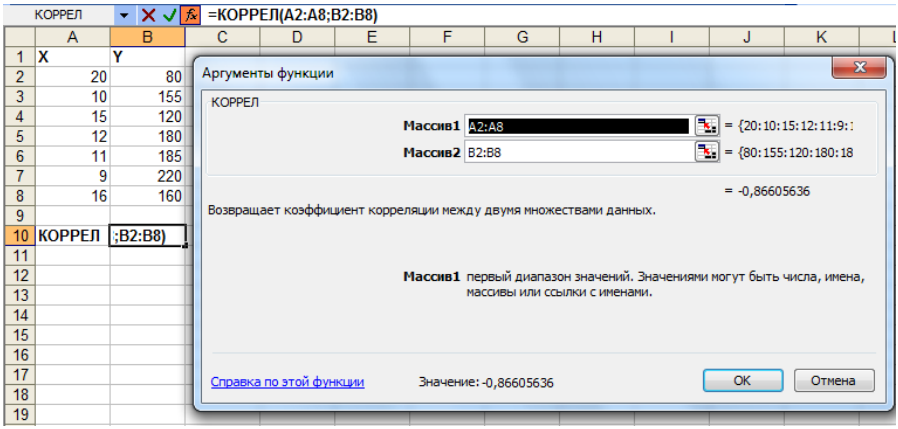


Рис. 13. Вычисление коэффициента корреляции при помощи функции

Значение коэффициента корреляции -0,87 указывает на сильную обратную линейную связь между величинами *X* и *Y*.

Выбор факторов.

Имеются данные наблюдений значений *Y* и трех факторов *X*. При помощи корреляционного анализа выбрать факторы, линейно связанные с *Y*.

X1	X2	X3	Y
14	105	6	80
10	50	13	150
15	95	14	130
2	120	12	100
11	75	15	185
9	150	20	220
16	100	17	160

Используем команду «Корреляция» надстройки «Пакет анализа». В окне команды задаем необходимые параметры:

Входной интервал – диапазон, содержащий столбцы с данными.

Метки в первой строке – флажок нужно отметить, если в выделенный диапазон содержит заголовки.

Выходной интервал – ячейка на свободном месте листа - левый верхний угол выходного диапазона.

Результат – матрица коэффициентов корреляции. Содержит парные коэффициенты корреляции между всеми столбцами входного интервала (каждого с каждым).

	X1	*X2*	*X3*	*Y*
X1	1			
X2	-0,26	1		
X3	-0,02	0,29	1	
Y	0,05	0,15	**0,90**	1

В данной задаче нас интересуют коэффициенты корреляции *Y* с факторами *X*1, *X*2, *X*3. Только один из коэффициентов имеет достаточно большую величину 0,90, указывая на сильную прямую линейную связь величин *Y* и *X*3.

Задания для самостоятельной работы

1) Задана таблица парных значений (x_i, y_i). Рассчитать парные коэффициенты корреляции и определить наличие, направление и силу линейной зависимости между величинами.

Вариант1		**Вариант2**		**Вариант3**	
X2	**Y2**	**X3**	**Y3**	**X5**	**Y5**
6	24	10,2	786	25	5
2	16	12,6	494	40	3
5	23	13,5	289	21	10
1	15	9,7	892	22	8
10	32	10,8	343	31	9
7	25	9,5	888	15	6
15	35	10,9	509	10	7
3	18	9,2	987	24	11
11	35	14,2	187	23	13
13	34	-	-	19	14
2	15	-	-	30	12
12	32	-	-	14	9

2) Предполагается зависимость *Y* от нескольких факторов *X*. Собраны парные значения величин. Определить факторы, имеющие линейную связь с *Y*.

X1	X2	X3	X4	Y
67	22	2,1	0	56
48	22,4	6	1	66
64	22,6	1,8	1	61
57	21,1	3,8	0	51
10	22,5	4,5	1	47
48	22,2	4,5	0	53
96	24,8	0,1	3	74
75	22,6	0,9	0	65
12	20,5	4,8	0	33
47	21,9	2,3	1	54
20	20,5	3	2	39
73	20,8	0,3	2	52
40	20	2,7	0	30

Контрольные вопросы

1. Для чего используется дисперсионный анализ?
2. В чем различия двухфакторного дисперсионного анализа без повторений и с повторениями?
3. Какие команды Excel используются для проведения однофакторного и двухфакторного дисперсионного анализа?

Занятие 9. Анализ зависимостей. Регрессионный анализ

Цель занятия: закрепление теоретических знаний по соответствующей теме; формирование навыков и умений нахождения уравнения регрессии с помощью электронных таблиц Excel.

Линейное уравнение регрессии моделирует зависимость *Y* от одного или нескольких факторов. Коэффициенты регрессии определяются методом наименьших квадратов (МНК) на основе данных наблюдений переменной *Y* и соответствующих значений факторов.

В Excel коэффициенты линейной регрессии можно найти при помощи команды «Регрессия» из «Пакета анализа» или функции ЛИНЕЙН. Функция ТЕНДЕНЦИЯ возвращает значения, рассчитанные по линейному уравнению регрессии. Уравнение парной регрессии (с одним фактором) может быть получено на точечной диаграмме как уравнение линии тренда.

Практическое применение уравнение регрессии. Подставляя в уравнение регрессии планируемые значения факторов, можно рассчитать прогноз значений Y. И наоборот, задаваясь желаемым значением Y можно определить необходимое для его обеспечения значение фактора (при фиксированных значениях остальных факторов).

Пример 9. Найти коэффициенты линейного уравнения регрессии $Y = aX_1 + bX_2 + c$.

X1	1,3	2	1,7	1,5	1,6	1,2	1,6	1,4	1	1,1
X2	9	7	5	14	15	12	6	10	15	21
Y	10	6	5	12	10	15	5	12	17	20

В окне команды «Регрессия» из пакета анализа задаем:

Входной интервал Y – диапазон, содержащий значения Y. Заголовок включаем в диапазон, он понадобиться при выводе результата.

Входной интервал X – диапазон, содержащий значения факторов X1 и X2 вместе с заголовками.

Метки – устанавливаем флажок, так как входной интервал содержит заголовки.

Выходной интервал – ячейка на свободном месте листа.

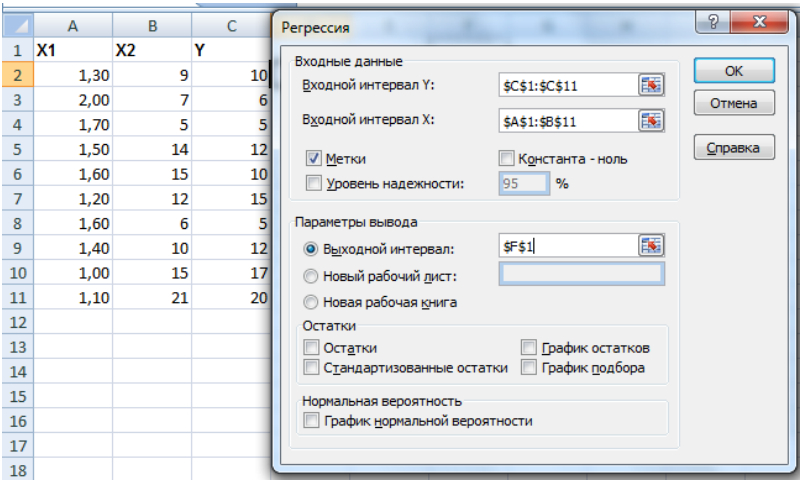


Рис. 14. Параметры команды «Регрессия»

Результат содержит 3 таблицы:

1. Регрессионная статистика. Коэффициент детерминации R^2 показывает какая часть дисперсии результативного признака (Y) объяснена уравнением регрессии. Чем больше R^2, тем точнее уравнение регрессии аппроксимирует исходные данные ($0 \leq R^2 \leq 1$).

2. Дисперсионный анализ проводится для оценки значимости уравнения регрессии по критерию Фишера. Значимость F – это уровень значимости, соответствующий расчетному значению критерия Фишера. Он не должен превышать допустимый уровень, например, 0,05.

3. Содержание 3-й таблицы:

Коэффициенты – это коэффициенты уравнения регрессии: Y-пересечение – свободный член уравнения (c), X1 – коэффициент при переменной X_1 (a), X2 – коэффициент при переменной X_2 (b).

Стандартная ошибка – стандартные ошибки вычисление коэффициентов.

t-статистика – расчетные значения t-критерия:

P-значение – это уровни значимости коэффициентов, соответствующие вычисленным значениям t-критерия.

Нижние 95% и Верхние 95% – границы доверительных интервалов коэффициентов.

	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	ВЫВОД ИТОГОВ								
2									
3	*Регрессионная статистика*								
4	Множественный R	0,965							
5	R-квадрат	**0,932**							
6	Нормированный R-квадрат	0,912							
7	Стандартная ошибка	1,507							
8	Наблюдения	10,000							
9									
10	Дисперсионный анализ								
11		*df*	*SS*	*MS*	*F*	***Значимость F***			
12	Регрессия	2,000	217,699	108,849	47,917	**0,000**			
13	Остаток	7,000	15,901	2,272					
14	Итого	9,000	233,600						
15									
16		***Коэффициенты***	*Стандартная ошибка*	*t-статистика*	***P-значение***	*Нижние 95%*	*Верхние 95%*	*Нижние 95,0%*	*Верхние 95,0%*
17	**Y-пересечение**	**16,406**	4,343	3,778	**0,007**	6,138	26,675	6,138	26,675
18	**X1**	**-8,248**	2,196	-3,756	**0,007**	-13,440	-3,055	-13,440	-3,055
19	**X2**	**0,585**	0,134	4,377	**0,003**	0,269	0,901	0,269	0,901

Рис. 15. Результат выполнения команды «Регрессия»

Искомое уравнение: $Y = -8{,}248 * X_1 + 0{,}585 * X_2 + 16{,}406$

Для расчета значений по уравнению регрессии вводим полученную формулу, уравнения подставляем вместо x1 и x2 ссылки на ячейки с соответствующими значениями факторов.

Значений по уравнению регрессии могут быть рассчитаны и при помощи функции ТЕНДЕНЦИЯ. Функция должна вернуть массив значений и вводится как формула массива (выделить диапазон ячеек, в котором будет размещаться результат, ввести функцию, задать ее аргументы, для завершения ввода нажать сочетание клавиш <Ctrl+Shift+Enter>).

Задания для самостоятельной работы

Найти параметры линейного уравнения регрессии с двумя факторами. По полученному уравнению рассчитать значения Y, в том числе и для планируемых значений факторов.

Вариант 1

X1	7	6	7	8	9	9	9	9	6	9
X2	23	28	26	19	18	16	15	9	20	12
Y	483	489	486	563	570	559	594	575	464	647

Планируемые значения факторов:

X1	5	10	12
X2	20	20	15

Вариант 2

X1	11	3	4	7	9	8	5	7	8	7
X2	6	2	1	3	5	4	2	2	3	2
Y	24	8	16	18	24	23	11	15	21	20

Планируемые значения факторов:

X1	5	20
X2	4	5

Контрольные вопросы

1. Какие возможности есть в Excel для регрессионного анализа?
2. Как используется уравнение регрессии в моделировании?

Занятие 10. Моделирование временных рядов. Уравнения тренда. Декомпозиция временных рядов

Цель занятия: закрепление теоретических знаний по соответствующей теме; формирование навыков и умений построения уравнений тренда временных рядов в электронных таблицах Excel.

Если изучаемая величина изменяется со временем, исследователя как правило интересует динамика этой величины. Ряд значений величины, зафиксированных через одинаковые промежутки времени называется временным рядом.

Тренд, или тенденция, – это монотонное поведение временного ряда (возрастание или убывание). При этом могут присутствовать и случайные колебания значений.

Тренд можно аппроксимировать при помощи аналитической функции от времени $y = f(x)$ – уравнения тренда, где y – исследуемая величина, x – время (порядковый номер наблюдения). Вид уравнения выбирается исследователем (по смыслу данных, по виду графика), а параметры определяются по методу наименьших квадратов (уравнение тренда – это уравнение регрессии (см. Занятие 9), в котором фактором является время).

В электронных таблицах уравнение тренда можно получить непосредственно на графике временного ряда.

Помимо тренда во временном ряду могут присутствовать и другие неслучайные компоненты. Периодически повторяющиеся похожие колебания данных называются сезонными колебаниями, или сезонностью. Один из методов моделирования таких рядов - это метод декомпозиции. ряд (Y) раскладывается на отдельные компоненты, которые моделируются отдельно, а затем комбинируются. тренд (T) может быть выделен при помощи уравнения тренда, а сезонная компонента (S) - в виде усредненных сезонных коэффициентов. Случайная компонента не моделируется.

Аддитивная модель: Y = T + S

Мультипликативная модель: Y = T×S.

Виды линий трендов, доступные в Excel:

Линейный тренд – равномерный рост при $a>0$ (падение при $a<0$), то есть изменение с постоянной скоростью, скорость равна a.

$$y = ax + b$$

Квадратичный тренд (полином 2 степени) – ускоренный рост (при $a>0$) с постоянным ускорением, ускорение равно $2a$.

$$y = ax^2 + bx + c$$

Экспоненциальный (*или показательный*) *тренд* – рост в геометрической прогрессии (при $b>0$), $k = e^b$ – постоянный темп роста, каждое значение ряда в k раз больше предыдущего.

$$y = ae^{bx} \text{ или } y = ak^x$$

Логарифмический тренд – замедляющийся рост (при $a>0$).

$$y = a\ln(x) + b$$

Степенной тренд – ускоряющийся (при $b>1$) или замедляющийся (при $0<b<1$) рост.

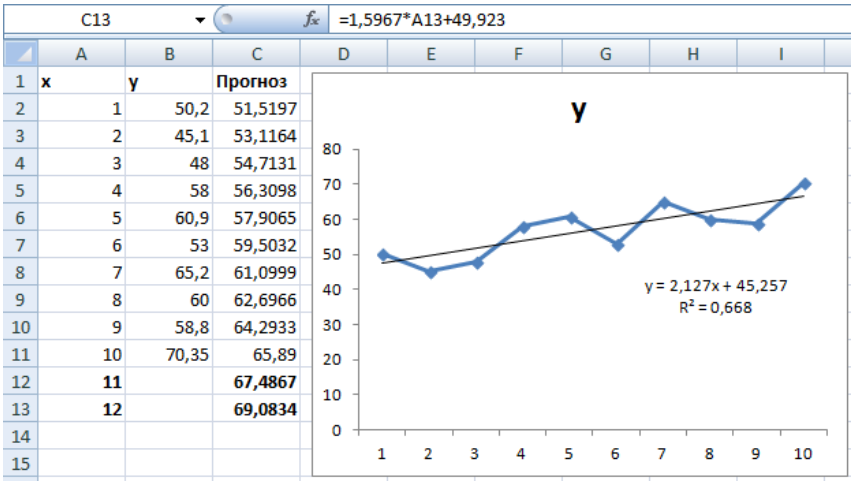
$$y = ax^b$$

Линейная фильтрация – эта линия определяется не уравнением, а по методу сглаживания скользящими.

Пример 10. Имеются данные о еженедельных затратах на ГСМ в хозяйстве за 10 недель.

1) Строим график временного ряда по столбцу с данными *y*, на горизонтальной оси автоматически проставляются порядковые номера значений ряда – значения *x*. Ряд имеет равномерный рост – для моделирования подходит линейная функция $y = ax + b$.

2) В контекстном меню графика выбираем команду «Добавить линию тренда». В окне «Формат линия тренда» выбираем тип линии (линейная) и устанавливаем флажки «показывать уравнение на диаграмме» и «поместить на диаграмму величину достоверности аппроксимации R^2». R^2 показывает какой процент изменчивости *y* вызван изменчивостью *x*, в данном случае 67%. Подставив в полученное уравнение тренда будущие номера недель, можно рассчитать прогноз затрат на ГСМ.



	A	B	C
1	x	y	Прогноз
2	1	50,2	51,5197
3	2	45,1	53,1164
4	3	48	54,7131
5	4	58	56,3098
6	5	60,9	57,9065
7	6	53	59,5032
8	7	65,2	61,0999
9	8	60	62,6966
10	9	58,8	64,2933
11	10	70,35	65,89
12	**11**		**67,4867**
13	**12**		**69,0834**
14			
15			

Рис. 16. График временного ряда с линией и уравнением тренда и рассчитанные по уравнению значения (столбец С), включая прогноз на 2 будущие недели

Задания для самостоятельной работы

Построить графики временных рядов, сделать вывод о наличии тренда, подобрать линию тренда, сделать прогноз на 2-3 будущих периода.

Ряд1. **Y1:** 8,4; 13,4; 16,4; 15,1; 18,2; 17,5; 18,4; 17,2; 19,4; 19,2; 22; 20.

Ряд2. **Y2:** 10; 12; 11; 9; 15; 13; 17; 16; 14; 18; 14; 20.

Ряд3. **Y3:** 250; 210; 250; 220; 400; 310; 600; 480; 600; 740; 680; 890.

Ряд4. **Y4:** 518; 404; 300; 210; 196; 186; 247; 343; 464; 680; 711; 610; 613; 392; 273; 322; 189; 257; 324; 404; 677; 858; 895; 664.

Контрольные вопросы

1. Что такое временной ряд?
2. Что такое тренд временного ряда?
3. Какая линия подходит для моделирования процесса с замедляющимся ростом значений? С равномерным убыванием?

Занятие 11. Моделирование временных рядов. Методы сглаживания

Цель занятия: закрепление теоретических знаний по соответствующей теме; формирование навыков и умений сглаживания временных рядов в электронных таблицах Excel.

Сглаживание временных рядов используется для уменьшения случайных колебаний данных. Это позволяет выделить детерминированную компоненту ряда - тренд. В некоторых случаях сглаженные значения могут использоваться и для прогноза данных. Все методы сглаживания основаны на усреднении исходных данных.

Для расчета сглаженных значений можно использовать расчетные формулы или надстройку «Пакет анализа». В надстройке реализованы два метода: скользящее среднее и простое экспоненциальное сглаживание.

Сглаживание скользящими средними

Сглаженная точка в каждый момент времени рассчитывается как среднее арифметическое k предыдущих точек исходных данных. Чем больше k, тем сильнее сглаживание. В сглаженном ряду теряется k–1 начальное значение, так как для них нет предыдущих значений.

Формула, которую использует команда «Скользящие средние» из пакета анализа:

$$\hat{y}_t = \frac{1}{k} \sum_{i=t-k+1}^{t} y_i \qquad (18)$$

$\hat{y}_t$ – сглаженное значение в момент времени t; y_i – точки исходных данных в моменты времени t, t–1, …, t–k+1; k – константа сглаживания.

Экспоненциальное сглаживание

Метод экспоненциального сглаживания также основан на усреднении данных. В каждый момент времени усредняются все предыдущие точки ряда, при этом берется их среднее взвешенное. Самые новые данные имеют бо́льший вес, у более старых данных

веса уменьшаются по экспоненциальному закону.

Константа сглаживания α, $0 \le \alpha \ge 1$. От величины α зависит степень сглаживания. Чем меньше α, тем сильнее сглаживаются данные.

«Экспоненциальное сглаживание» из «Пакета анализа» рассчитывает сглаженное значение на 1 шаг вперед по формулам:

$$\hat{y}_2 = y_1,$$

$$\hat{y}_{t+1} = \alpha y_t + (1-\alpha)\hat{y}_t \text{ для } t = 2,..., n \qquad (19)$$

где n – число значений временного ряда.

Формула экспоненциального сглаживания – реккурентная: сглаженное значение в каждый момент времени вычисляется на основе сглаженного значения в предыдущий момент времени. Поэтому самое первое значение не может быть вычислено по формуле, оно должно быть предварительно задано. Обычно принимают

$$\hat{y}_2 = y_1.$$

Формула экспоненциального сглаживания может быть введена вручную. При этом константу α удобно задать в отдельной ячейке и сделать на нее ссылку. Тогда α можно изменять, подбирая ее наилучшее значение.

Экспоненциальное сглаживание Хольта

Метод Хольта – это модификация метода экспоненциального сглаживания, которая учитывает тренд данных и позволяет сделать прогноз в соответствии с этим трендом.

В методе Хольта по формулам экспоненциального сглаживания усредняются две компоненты временного ряда: уровень L (значение) и тренд T (направление движения). Тренд в каждый момент времени определяется как разница между двумя соседними уровнями. Тренд и уровень сглаживаются со своими независимыми параметрами α и β. Затем компоненты суммируются.

Формулы метода Хольта:

Начальные значения: $L_1 = y_1,\ T_1 = 0$

Сглаживание уровня: $L_t = \alpha y_t + (1-\alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}),\ t = 2,..., n$

Сглаживание тренда: $T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1},\ t = 2,..., n$

Текущие сглаженные значения: $\hat{y}_{t+1} = L_t + T_t,\ t = 1,..., n-1$

Будущие сглаженные значения: $\hat{y}_{n+p} = L_n + pT_n,\ p = 1,2,\ldots$

y_t – значение исходного ряда в момент времени *t*

L_t – сглаженный уровень в момент времени *t*

T_t – сглаженный тренд в момент времени *t*

n – число значений в исходном ряду (номер последней точки); *p* – номер будущего момента времени

Прогноз на *p* шагов вперед формируется в виде прямой линии с углом наклона T_n и началом отсчета L_n: $\hat{y}_{n+p} = L_n + pT_n$.

Пример 11. Данные 12-недельного временного ряда сгладить различными методами сглаживания.

Y	140	200	120	320	210	340	240	380	360	450	340	450

Скользящее среднее

В окне команды «Скользящее среднее» указываем: ссылку на диапазон ячеек с исходными значениями ряда, значение константы сглаживания k, ссылку на ячейку выходного диапазона, флажок «Вывод графика». Первые 3 (k-1) значение не могут быть определены (#Н/Д - нет данных). В сглаженной линии прослеживается равномерный растущий тренд. Но сглаженная линия слегка отстает от исходных данных (рис. 17).

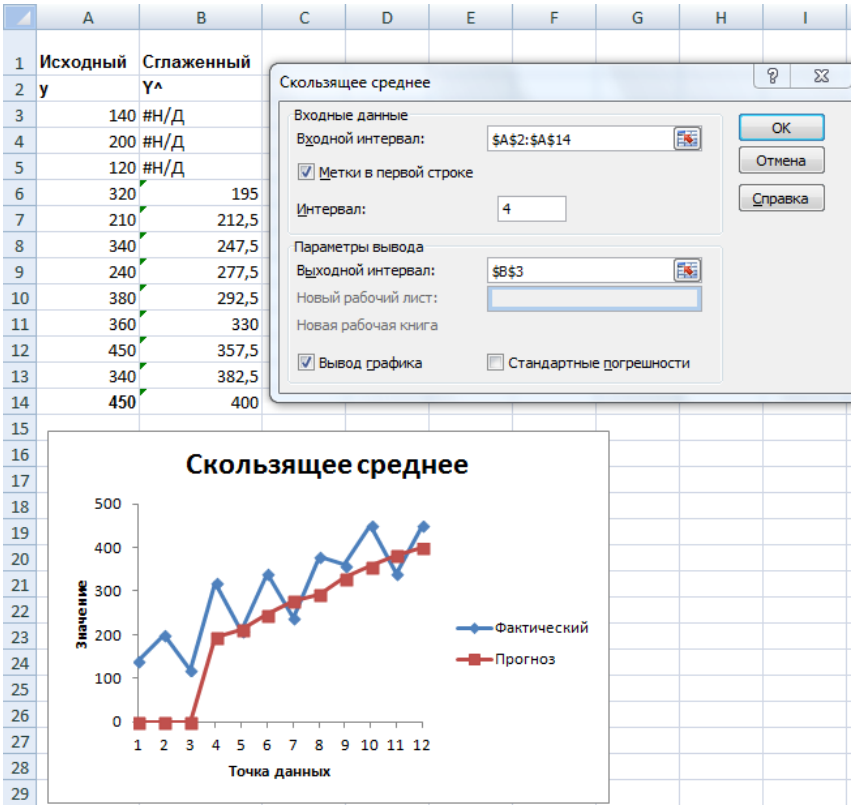


Рис. 17. Сглаживание Скользящими средними

Простое экспоненциальное сглаживание.

В окне команды «Экспоненциальное сглаживание» указываем: ссылку на диапазон ячеек с исходными значениями ряда, значение фактора затухания (1-α), ссылку на ячейку выходного диапазона, флажок «Вывод графика».

Чем больше фактор затухания, тем больше старые данные участвуют в расчете сглаженных значений, если в данных есть тренд, то сглаженная линия заметно отстает от настоящих данных. Чем меньше фактор затухания, тем меньше влияние старых данных, и сильнее влияние новых, линия менее гладкая, но лучше описывает исходные данные (рис. 19).

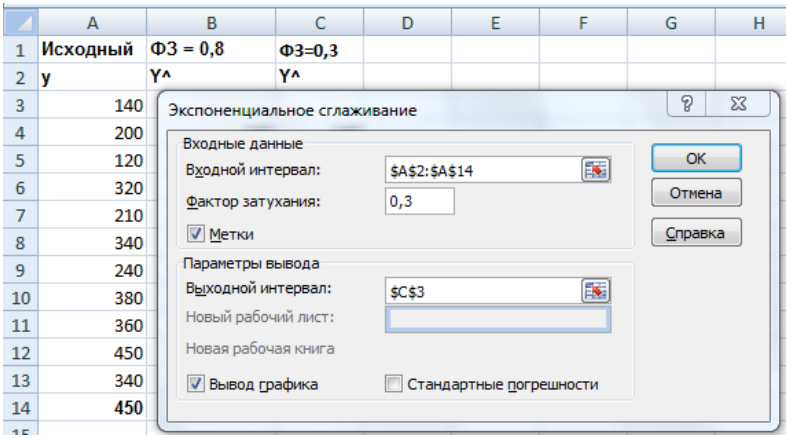


Рис. 18. Простое экспоненциальное сглаживание

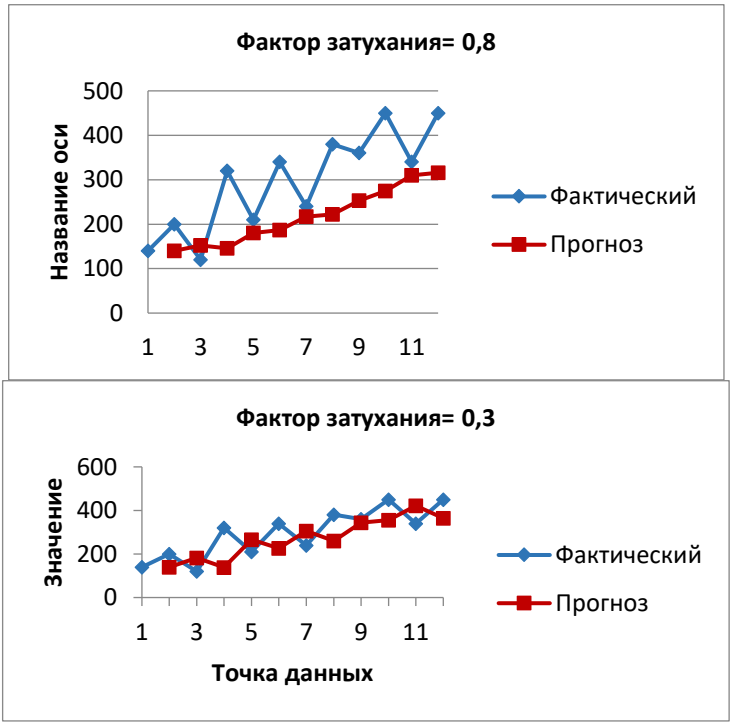


Рис. 19. Влияние фактора затухания

Метод Хольта. Метод Хольта не только позволяет хорошо описать тренд ряда, но и сделать прогноз на несколько будущих недель. Готового решения в Excel нет, необходимо вводить формулы в ячейки листа, последовательно рассчитывая значения сглаженного уровня L, тренда T, окончательного сглаженного значения и прогноза на будущее Y^.

На рис. расчетный лист в режиме отображения формул, на рис. – график исходных и сглаженных значений с прогнозом на 4 недели. Значения констант взяты α=0,3, β=0,4.

Прогноз по методу Хольта практически идентичен прогнозу по уравнению тренда, но гораздо более гибкий и может реагировать на изменение тренда данных.

F18 =$D$17+A18*$E$17

	A	B	C	D	E	F	G
1					константы сглаживания		
2					альфа	бета	
3					0,3	0,4	
4				Уровень	Тренд	Сглаженный	
5	p	t	y	L	T	Y^	
6		1	140	=C6	0		
7		2	200	=$E$3*C7+(1-$E$3)*(D6+E6)	=$F$3*(D7-D6)+(1-$F$3)*E6	=D6+E6	
8		3	120	=$E$3*C8+(1-$E$3)*(D7+E7)	=$F$3*(D8-D7)+(1-$F$3)*E7	=D7+E7	
9		4	320	=$E$3*C9+(1-$E$3)*(D8+E8)	=$F$3*(D9-D8)+(1-$F$3)*E8	=D8+E8	
10		5	210	=$E$3*C10+(1-$E$3)*(D9+E9)	=$F$3*(D10-D9)+(1-$F$3)*E9	=D9+E9	
11		6	340	=$E$3*C11+(1-$E$3)*(D10+E10)	=$F$3*(D11-D10)+(1-$F$3)*E10	=D10+E10	
12		7	240	=$E$3*C12+(1-$E$3)*(D11+E11)	=$F$3*(D12-D11)+(1-$F$3)*E11	=D11+E11	
13		8	380	=$E$3*C13+(1-$E$3)*(D12+E12)	=$F$3*(D13-D12)+(1-$F$3)*E12	=D12+E12	
14		9	360	=$E$3*C14+(1-$E$3)*(D13+E13)	=$F$3*(D14-D13)+(1-$F$3)*E13	=D13+E13	
15		10	450	=$E$3*C15+(1-$E$3)*(D14+E14)	=$F$3*(D15-D14)+(1-$F$3)*E14	=D14+E14	
16		11	340	=$E$3*C16+(1-$E$3)*(D15+E15)	=$F$3*(D16-D15)+(1-$F$3)*E15	=D15+E15	
17		13	450	=$E$3*C17+(1-$E$3)*(D16+E16)	=$F$3*(D17-D16)+(1-$F$3)*E16	=D16+E16	
18	1	12				=$D$17+A18*$E$17	
19	2	13				=$D$17+A19*$E$17	
20	3	14				=$D$17+A20*$E$17	
21	4	15				=$D$17+A21*$E$17	

Рис. 20. Расчет по методу Хольта.

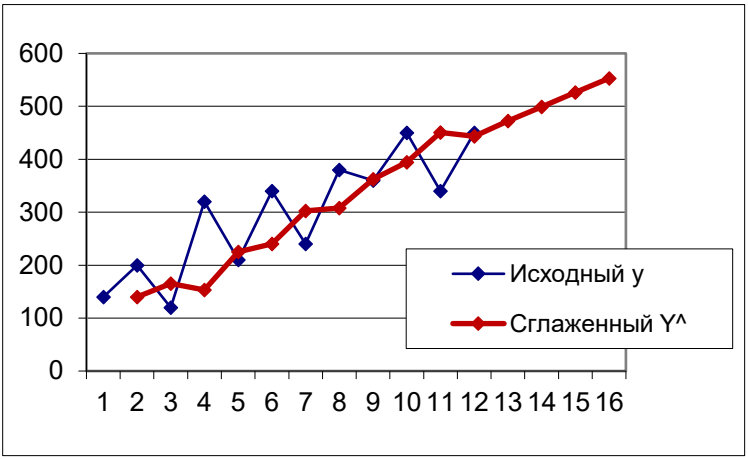


Рис. 21. Сглаживание по методу Хольта и прогноз

Задания для самостоятельной работы

Сгладить данные временных рядов.

t	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
1	40	15	223	22	9,5
2	32	10	124	12	10,1
3	35	14	238	23	12,5
4	22	13	124	12	10,9
5	34	19	104	10	13,8
6	22	13	256	25	13,1
7	30	14	245	24	18,4
8	25	8	158	15	16,4
9	26	15	987	30	22,4
10	32	15	862	25	24,5
11	21	12	800	38	29,8
12	22	15	948	45	38,6

Контрольные вопросы

1. Для чего применятся методы сглаживания?
2. В чем суть экспоненциального сглаживания?
3. В чем отличие метода Хольта от простого экспоненциального сглаживания?

Занятие 12. Элементы имитационного моделирования. Генерация случайных чисел

Цель занятия: закрепление теоретических знаний по соответствующей теме; формирование навыков и умений генерирования случайных чисел в электронных таблицах Excel.

Команда «Генерация случайных чисел» пакета анализа позволяет сгенерировать нужное количество значений случайной величины, распределенной по заданному закону (равномерное, дискретное, нормальное, Бернулли и т.д.). Функция СЛЧИС возвращает случайное число, равномерно распределенное в диапазоне от 0 до 1.

В имитационном моделировании реальный эксперимент заменяется расчетом по соответствующей математической модели. Варьируя исходные данные для расчета можно провести практически неограниченное количество «испытаний», результаты которых затем подвергнуть статистической обработке и сделать необходимые выводы. Сгенерированные потоки случайных значений могут использоваться для формирования потока входных данных в имитационных моделях.

Случайные числа могут быть полезны и при планировании эксперимента, при рандомизации данных для выборки.

Пример 12. Сгенерировать 120 значений нормально распределенной случайной величины со средним значением 10 и стандартным отклонением 4.

В окне команды «Генерация случайных чисел» задаем требуемые параметры (рис. 21).

Для проверки построим для полученных данных гистограмму распределения и рассчитаем параметры описательной статистики для полученной выборки. Они соответствуют нормальному распределению с указанными параметрами (рис. 22).

Задания для самостоятельной работы

1) Сгенерировать 50 значений величины, равномерно распределенной на отрезке [5;15].

2) Сгенерировать 100 значений нормально распределенной случайной величины со средним значением 25 и стандартным отклонением 3,5.

3) Сымитировать 20 бросаний игральной кости.

4) Сымитировать 20 подбрасываний монеты.

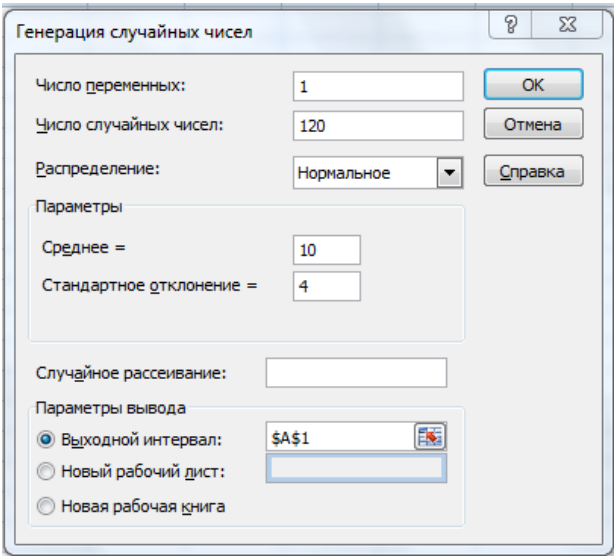


Рис. 21. Генерация случайных чисел

Столбец1	
Среднее	9,97
Стандартная ошибка	0,39
Медиана	10,05
Мода	#Н/Д
Стандартное отклонение	4,31
Дисперсия выборки	18,62
Эксцесс	-0,53
Асимметричность	-0,12
Интервал	20,34
Минимум	-1,23
Максимум	19,12
Сумма	1196,14
Счет	120,00

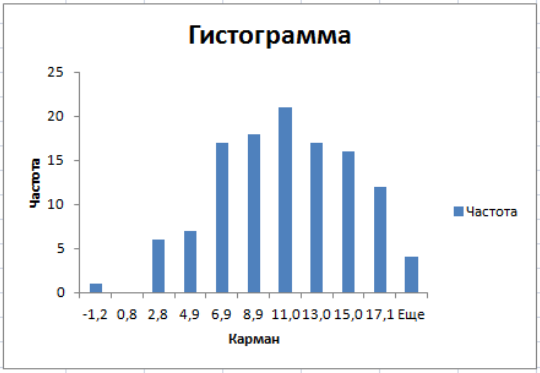


Рис. 22. Показатели описательной статистики и гистограмма распределения сгенерированной случайной величины

Контрольные вопросы

1. Для чего в моделировании можно использовать сгенерированные случайные числа?
2. Какие возможности для создания случайных чисел есть в Excel?

Рекомендуемая литература

1. Григорьев, А.И. Метод размерностей : задачник / А. И. Григорьев, В. А. Коромыслов, В. А. Папорков, С. О. Ширяева. – Ярославль : ЯрГУ, 2007 .– 82 с. – Режим доступа: https://lib.rucont.ru/efd/206975

2. Зайцев, А.В. Обработка результатов полного факторного эксперимента : методические указания. – Курган : РИЦ Курганского государственного университета, 2016. – 22 с.

3. Коржов, Е.Н. Математическое моделирование / Е.Н. Коржов. – Воронеж : Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2012. – 74 с. – Режим доступа: https://lib.rucont.ru/efd/242775

4. Основы теории подобия : конспект лекций / К.И. Зуев. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011. – 51 с.

5. Плотников, А.Н. Статистическое моделирование и системный анализ технологических процессов : учеб. пособие / А.Н. Плотников. – Самара : Издательство СГАУ, 2008. – 79 с. – Режим доступа: https://lib.rucont.ru/efd/176411

6. Соколовская, И.Ю. Полный факторный эксперимент : методические указания / И.Ю. Соколовская. – Новосибирск : НГАВТ, 2010. – 36 с.

Оглавление

Предисловие 3

Занятие 1. Практическое использование теории размерностей. Метод размерностей 4

Занятие 2. Основные положения теории подобия 7

Занятие 3. Построение планов ПФЭ. Обработка результатов двухфакторного и трехфакторного экспериментов 10

Занятие 4. Оценка статистической значимости коэффициентов регрессии. Интерпретация результатов ПФЭ. Перевод уравнения регрессии в натуральную форму 19

Занятие 5. Распределение случайной величины. Описательная статистика 23

Занятие 6. Проверка гипотез. Сравнение средних. Критерий Стьюдента 28

Занятие 7. Проверка гипотез. Однофакторный и двухфакторный дисперсионный анализ 31

Занятие 8. Анализ зависимостей. Корреляционный анализ ... 36

Занятие 9. Анализ зависимостей. Регрессионный анализ 39

Занятие 10. Моделирование временных рядов. Уравнения тренда. Декомпозиция временных рядов 43

Занятие 11. Моделирование временных рядов. Методы сглаживания 46

Занятие 12. Элементы имитационного моделирования. Генерация случайных чисел 53

Рекомендуемая литература 55

Учебное издание

Беришвили Оксана Николаевна
Мосина Нина Николаевна
Миронов Денис Владимирович

Моделирование технических систем в агроинженерии
Методические указания

Отпечатано с готового оригинал-макета
Подписано в печать 26.12.2019. Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л. 3,31; печ. л. 3,56.
Тираж 50. Заказ № 453.

Редакционно-издательский отдел ФГБОУ ВО Самарского ГАУ
446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2
Тел.: 8 939 754 04 86 доб. 608
E-mail: ssaariz@mail.ru

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Самарский государственный аграрный университет»

Кафедра «Менеджмент и маркетинг»

С. В. Машков
С. И. Васильев
П. А. Ишкин
Н. Н. Галенко

Организация и управление производством, инженерно-экономическая оценка машин и технологий

Методические указания

Кинель
РИО Самарского ГАУ
2019

ББК 65.290
М38

Машков, С. В.
М38 Организация и управление производством, инженерно-экономическая оценка машин и технологий : методические указания / С. В. Машков, С. И. Васильев, П. А. Ишкин, Н. Н. Галенко. – Кинель : РИО Самарского ГАУ, 2019. – 96 с.

Методические указания предназначены для проведения практических занятий по дисциплине «Организация и управление производством, инженерно-экономическая оценка машин и технологий», содержат практические задания по актуальным проблемам в области организации и управления производством, менеджмента трудового потенциала человеческих ресурсов, оценки машин и технологий на производстве. Могут быть использованы при расчете и определении потребности в сельскохозяйственной технике для каждого уровня системы управления агропромышленным производством: предприятие (хозяйство) – район – область – округ – государство.

Адресованы обучающимся по направлениям подготовки 35.04.06 и 35.03.06 «Агроинженерия» (квалификация (степень) «магистр» и «бакалавр»).

© ФГБОУ ВО Самарский ГАУ, 2019
© Машков С. В., Васильев С. И.,
Ишкин П. А., Галенко Н. Н., 2019

ПРЕДИСЛОВИЕ

Без людей нет организации. Без нужных людей ни одна организация не сможет достичь своих целей и выжить. Несомненно, что управление производством и трудовыми ресурсами является одним из важнейших аспектов теории и практики управления.

Конкретная ответственность за общее руководство производством трудовыми ресурсами в крупных организациях обычно возложена на профессионально подготовленных работников отделов кадров, обычно в составе штабных служб. Для того чтобы такие специалисты могли активно содействовать реализации целей организации, им нужны не только знания и компетенция в своей конкретной области, но и осведомленность о нуждах руководителей низшего звена. Вместе с тем, если руководители низшего звена не понимают специфики управления трудовыми ресурсами, его механизма, возможностей и недостатков, то они не могут в полной мере воспользоваться услугами специалистов-кадровиков. Поэтому важно, чтобы все руководители знали и понимали способы и методы управления производством и людьми.

Цель методических указаний – формирование системы компетенций для решения профессиональных задач по эффективной организации процесса производства и использованию сельскохозяйственной техники, а также способностей управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла, организовывать и руководить работой команды, вырабатывать командную стратегию, осуществлять технико-экономическое обоснование проектов в профессиональной деятельности, управлять коллективами и организовывать процессы производства в технологии производства и переработки продукции растениеводства и животноводства на предприятиях различных организационно-правовых форм.

Методические указания содержат описание 8 практических занятий, выполнение которых способствует закреплению теоретических знаний, развивает самостоятельность студентов.

Методические указания помимо пояснительного текста включают задания и контрольные вопросы, помогающие студенту выявить главное в изученной теме и закрепить изученный материал.

Методические указания содержат список рекомендуемой литературы, необходимый для самостоятельной подготовки к занятиям.

Практическое занятие 1
ОРГАНИЗАЦИОННО-УПРАВЛЕНЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ: СОДЕРЖАНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА

Цель: изучить особенности управления коллективами и особенности организации процессов производства, взаимодействия с сотрудниками, выполняющими различные задачи и обязанности, организации процессов производства; научиться формировать план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения.

1.1. Управленческая деятельность как особая разновидность трудового процесса

Труд – это целесообразная деятельность человека, направленная на создание с помощью орудий производства материальных и духовных ценностей, необходимых для жизни людей.

Управленческая деятельность представляет собой специфическую разновидность трудового процесса, а потому характеризуется всеми присущими ему элементами: предметом труда, самим трудом, а также его результатом. Предметом труда руководителя является информация, а результатом – решения, то есть соответствующим образом обработанная информация и выбор действий в конкретной ситуации. Средствами труда является все то, что обеспечивает обработку информации и принятие решений. Сюда относятся: интеллект руководителей и специалистов, компьютеры, телефоны, вербальная и письменная коммуникация, авторучки, бумага и другая оргтехника.

Управленческий труд относится к категории умственного труда, осуществляемого человеком в виде нервно-психических усилий. Умственный труд состоит из операций: слушание, чтение, говорение, наблюдение, мышление и т. п. Сложность управленческого труда является его главной чертой. Сложность обусловлена масштабом решаемых проблем, их взаимосвязями, разнообразием методов решения. Все это требует глубоких знаний, эрудиции, опыта, аналитического ума, широких внешних контактов.

Рынок требует новизны принимаемых решений изысканий в технологии и других инноваций. Управление инновациями намного сложнее, чем текущая деятельность, где из года в год повторяются и решаются одни и те же проблемы.

Сложность труда руководителя определяется степенью оперативности, самостоятельности, ответственности, рискованности принимаемых решений. Управленческий труд осуществляется в трех формах.

Эвристический труд – это анализ сложных стратегических проблем, разработка вариантов их решений.

Административный труд – это текущая координация и оценка деятельности подчиненных. Этот труд осуществляется в форме распоряжений, то есть доведения принятых решений до исполнителей в устном или письменном виде и их инструктирование; контроль за работой подчиненных, их поощрение и наказание; обмен информацией в процессе проведения собраний, совещаний, приема посетителей, ведения деловых переговоров, ответа на письма и телефонные звонки, обход рабочих мест.

Оперативный труд – направлен на техническое обеспечение производственных и управленческих процессов необходимой информацией. Это такие виды деятельности как документация, первично-счетная и счетная статистическая, бухгалтерская информация о производственных, хозяйственных, социальных процессах. Этот труд осуществляют специалисты и технические работники. Они последовательно обрабатывают собранную информацию и осуществляют необходимые расчеты, на основе которых руководитель принимает решения.

Таким образом, управленческий труд, это труд по прогнозированию, планированию, принятию решений, контролю, координации и регулированию работы подразделений и отдельных работников с целью достижения запланированных результатов.

М. Армстронг определяет руководство следующим образом: «решать – что нужно делать и затем добиваться выполнения решения, эффективно используя ресурсы». Самая важная часть руководства – организовать ход производства с помощью других людей, используя имеющиеся материальные ресурсы.

1.2. Содержание труда руководителя предприятия

Американские ученые отмечают, что почти всякая работа в обществе требует специализации и концентрации. Станочники, овладев техникой изготовления какой-то детали на своем станке, могут потом в течение многих недель заниматься этой операцией. Тоже можно сказать и о работе инженеров и программистов.

Руководитель же не вправе ожидать такой однородности в своей работе. Для его работы характерным будет краткосрочность, разнообразие и фрагментарность его деятельности. Это обстоятельство можно объяснить особенностью содержания работы руководителя, то есть теми ролями, которые он выполняет, осуществляя управление организацией.

Минцберг определяет роль как набор определенных правил соответствующих конкретной должности. Он выделяет 10 ролей, которые группирует в рамках трех категорий. Эти роли взаимозависимы и взаимодействуют для создания единого целого.

1) Во-первых – это межличностные роли, где руководитель выступает как лидер и связующее звено. На этой основе он взаимодействует с людьми. Здесь руководитель ответственный за мотивацию и активизацию подчиненных, за подбор кадров. Участвует в совещаниях, организует сеть внешних контактов и получает информацию.

2) Во-вторых – это информационные роли, где он действует как центр обработки информации внешней и внутренней среды. Обрабатывает почту, знакомится с литературой, совершает ознакомительные поездки. Всю полученную информацию (внешнюю и внутреннюю) использует в интересах своего дела, часть которой письменно или вербально передает подчиненным (беседы, совещания). Участвует в заседаниях и устно выступает во внешних организациях.

3) Третья роль руководителя связана с принятием решений: распределение ресурсов, улаживание конфликтов, поиск возможностей запуска проекта по совершенствованию деятельности организации. Ответственность за распределение всевозможных ресурсов организации связана с принятием или одобрением всех значительных решений в организации. Эта роль выполняется путем участия в заседаниях с обсуждением стратегии, анализа ситуаций; обсуждением проблем и кризиса.

Составляются графики мероприятий, уточняются полномочия подчиненных, выполнения бюджетов и ведутся переговоры (представительство в других организациях). Все эти роли вместе взятые определяют объем и содержание работы руководителя, независимо от характера конкретной организации. В. Р. Веснин выделяет следующие функции руководителя.

1) Стратегическая функция, то есть анализ ситуации и прогнозирование целей предприятия, разработка стратегии и составление штатов.

2) Административная функция, которая состоит из ряда подфункций:

а) контрольная (оценка промежуточных и конечных результатов работы организации);

б) организационная (распределение среди исполнителей задач, ресурсов, полномочий и инструктирование подчиненных);

в) координация работы подразделений в интересах организации;

г) кадровая: подбор и обучение персонала;

д) стимулирующая: убеждение и воодушевление работников, их поощрение за успешно выполненную работу, наказание за провинности;

е) коммуникационная функция, то есть проведение совещаний, прием, посетителей, ответы на письма и телефонные звонки, проведение переговоров, деловое представительство;

ж)социальная функция, то есть руководитель создает в организации благоприятный морально-психологический климат.

Управленческая деятельность в организации направлена на те или иные процессы внутри организации, что связано с горизонтальным разделением труда. Различают следующие виды менеджмента (управления) в организациях: управление производством; управление материально-техническим снабжением и сбытом; управление инновациями; управление маркетингом; управление кадрами; финансовое управление; управление процессом сбора, анализа данных с целью выявления резервов предприятия.

Труд руководителя предприятия, его содержание реализуется по форме управленческого процесса, состоящего из четырех основных функций: планирования, организации, мотивации и контроля. Связующими моментами процесса управления являются коммуникации и принятия решений.

1.3. Элементы организации труда руководителя

Н. А. Пиличев определяет понятие организации труда руководителя как сложный многогранный процесс, имеющий инженерно-технические, экономические, социальные и психофизические аспекты.

Основные из них:

–разделение и кооперация труда работников управления (четкое определение круга обязанностей, прав и ответственности кадров, их роль в структуре управления);

– нормирование управленческого труда и определение численности штатов;

– рациональное использование рабочего времени руководителей и специалистов, введение правил внутреннего распорядка;

–техника личной работы руководителя (планирование работы, процедуры выработки решений и контроля за их исполнением, прием посетителей, проведение деловых совещаний, делопроизводство).

В крупных предприятиях, чтобы успешно координировать все работы в единой цепи формируется аппарат управления на основе вертикального разделения труда. Сущность его – это отделение работ по координации подразделений от непосредственного выполнения задания. На основе вертикального разделения труда образуется иерархия управленческих уровней.

Центральной характеристикой всякой иерархии является формальная подчинённость лиц на каждом уровне вышестоящему руководителю. Вертикальное разделение труда в аппарате управления можно представить в форме пирамиды (рис. 1).

Пирамида показывает, что на каждом последующем уровне меньше людей, чем на предыдущем.

Руководители высшего уровня имеют властные полномочия, формулируют цели организации. Их несколько человек и они отвечают за принятие важнейших решений.

Руководители среднего звена координируют деятельность руководителей нижнего звена, готовят информацию для решений высшему руководству.

Руководители нижнего звена контролируют выполнение производственных заданий, отвечают за использование выделенных им ресурсов, сырья и более 50% времени общаются с рабочими.

При проектировании организационной структуры высшее звено руководителей на основе устава организации делегируют часть своих полномочий руководителям среднего и нижнего уровня, закрепляя их формально в должностных инструкциях и других документах.

Рис. 1. Уровни управления трудового потенциала человеческих ресурсов

Разделение и кооперация труда работников аппарата управления. Согласно квалификационному справочнику должностей руководителей, специалистов и служащих, должностные обязанности директора предприятия содержат следующие основные требования.

1) Несет всю полноту ответственности за последствия принимаемых решений, сохранность имущества предприятия; за финансово-хозяйственные результаты предприятия.

2) Организует работу всех структурных подразделений; производственных единиц; направляет их деятельность на рост объема сбыта продукции, увеличения прибыли, качества и конкурентоспособности продукции.

3) Обеспечивает выполнение предприятием всех обязательств перед всеми уровнями бюджета и внебюджетными социальными фондами, поставщиками, заказчиками, кредиторами, а также хозяйственных и трудовых договоров.

4) Изучает конъюнктуру рынка, отечественного и зарубежного опыта в целях повышения качества продукции и экономической

эффективности её производства.

5) Обеспечивает предприятие квалифицированными кадрами и принимает меры по росту их профессиональных знаний и опыта, созданию безопасных и благоприятных для жизни и здоровья условий труда.

6) Обеспечивает правильное сочетание экономических и административных методов руководства, единоначалия и коллегиальности в обсуждении вопросов материальных и моральных стимулов повышения эффективности производства, а также принципа материальной заинтересованности и ответственности каждого работника за порученное ему дело, а также за выплату заработной платы в установленные сроки.

7) Совместно с трудовым коллективом и профсоюзом обеспечивает разработку и заключение коллективного договора на принципах социального партнерства.

8) Решает все вопросы финансово-экономической и производственно хозяйственной деятельности в пределах данных ему законодательством прав; поручает ведение дел другим должностным лицам и защищает имущественные интересы предприятия в суде, арбитраже, органах государственной власти и управления.

В отличие от руководителя предприятия сфера деятельности специалистов состоит из разработки и внедрения передовых технологий, прогрессивных форм организации труда, системы контроля за качеством технологических операций и качеством продукции.

Технические исполнители (служащие лаборатории, учетчики) заняты в основном сбором и обработкой информации, необходимой для оперативного управления производством и ведения бухгалтерского учета и отчетности.

П. М. Керженцев в своей книге «Принципы организации» писал, что плох тот организатор, который все делает своими собственными руками.

Этим он становится простым исполнителем и не оправдывает своего назначения. Хороший организатор никогда не делает сам. Он умеет заставить других выполнять свою работу, оставляя себе лишь основное руководство и общий контроль.

Главная задача руководителя выработать общий план работы, а затем суметь распределить работу между подчиненными и лишь контролировать выполнение работы по заданному плану. Для ру-

ководителя важно умение освобождаться от мелочей. Если он «тонет в мелочах» – это гибельное дело. Руководитель не должен выполнять работу своих подчиненных; он должен обладать административными способностями, то есть уметь заставить других людей выполнять порученные им задания. Этому способствует твердость характера, требовательность, настойчивость и энергия.

Административные методы управления персоналом активны, ориентированы на прямое принуждение людей и реализуются на практике в виде конкретных заданий исполнителю. Руководитель оформляет свое решение (задание) в виде приказа, распоряжения, указания. В распорядительной части документа указывают цели решения, а также кто, что, где, когда, как, в каких условиях, какими силами и средствами, и к какому сроку, с какими количественными и качественными показателями должен выполнить задание. Применение административных методов сопровождается поощрением и санкциями по отношению к исполнителю за успешную работу (премии, штрафы).

Недостаток этого метода в том, что поощряется исполнительность, а не инициатива. В отличие от административных методов, экономические методы предполагают не прямое, а косвенное воздействие на исполнителя. Это позволяет работникам на основе материальной заинтересованности самим проявлять инициативу и отвечать за результат своей работы.

Социально-психологические методы позволяют руководителю воздействовать на поведение людей и повышать их трудовую активность на основе благоприятного морально-психологического климата в коллективе, что способствует максимальной самореализации человека в своей работе. Только используя все три метода управления, руководитель может успешно выполнять свои обязанности.

1.4. Учет, контроль и планирование рабочего времени руководителя

Хронометраж – это наблюдение и измерение затрат рабочего времени на отдельные повторяющиеся элементы операции или операции в целом.

Фотография рабочего дня ведется наблюдателем на протяжении всего дня. Учитываются все полезные затраты и потери рабочего времени.

$$\textit{Коэффициент использования рабочего дня} = \frac{ПЗ + ОП + ОМ + ОЛН}{ПРД},$$

где *ПЗ* – подготовительно-заключительное время, мин;

ОП – оперативное время, мин;

ОМ – время обслуживания рабочего места, мин;

ОЛН – нормативное время на отдых и личные надобности, мин;

ПРД – продолжительность рабочего дня.

Чтобы руководителям определить виды деятельности, на которые время тратится впустую, и которые могут выполнять другие лица, проводится диагностика времени, для этого, время, затрачиваемое работниками управления, распределяют по следующим видам:

– обдумывание проблем, выработка решений, подготовка документов;

– руководство людьми (распределение заданий, инструктаж, оценка работы исполнителей, разрешение конфликтов);

– планирование деятельности на перспективу;

– подготовка совещаний, выступлений;

– контроль за деятельностью подчиненных;

– осуществление внешних коммуникаций (участие в переговорах, конференциях, обмен опытом).

После группировки и самофотографии работ руководителем дается оценка на предмет их необходимости (сравниваются предполагаемые и фактические затраты времени). Выявляются виды работ, обуславливающие лагери времени (встречи, телефонные разговоры, посетители, подчиненные). Это позволит избежать «расхитителей» времени и правильно составить план работы руководителя.

Основными причинами потери времени руководителя являются:

– нечеткая постановка целей и определение приоритетов. Поэтому люди не могут правильно ориентироваться в ситуации, и поэтому берут на себя или слишком много, либо слишком мало работы и «тонут» в мелочах;

– плохо организовано планирование, поэтому менеджер не справляется с распределением времени на выполнение тех или иных дел, или не знает как к ним подступиться;

– слабая организация дисциплины подчиненных (переделывание много раз одной и той же работы);

– отсутствие необходимой информации для принятия решений, (поэтому решения откладываются);

– нерешительность руководителя, неумение работать с партнерами, подчиненными, посетителями, проводить совещания.

Более 25% времени руководителей по вышеуказанным причинам тратится впустую. Чтобы избежать потерь рабочего времени руководитель может пользоваться так называемым «Организатором дня». В начале каждого дня просматриваются незавершенные дела и новые дела, чтобы проверить какие остались, и какие только что появились. Затем, те дела, которые надо сделать сегодня записываются в «Организатор дня». По тем задачам, которые завершены, ставится галочка.

Обеспечение руководителя оперативной информацией, необходимой для принятия решений. Оперативная информация о ходе и результатах производства ежедневно собирается, оформляется в сводку диспетчерской службой (диспетчером).

Согласно установленному распорядку дня учетчики (бригадиры) подразделений передают диспетчеру по рации или телефону сведения о выполненных объемах работ и произведенной продукции за прошедший день. Перечень контролируемых показателей утверждает руководитель. На основе этой информации (ежедневные сводки) проводится диспетчерский час с руководителями подразделений. Уточняется причина невыполнения заданий, простой техники, дается оценка работы руководителей и специалистов подразделений, принимаются оперативные решения по заявкам подразделений на ресурсы.

В течение рабочего дня диспетчер принимает от подразделений сведения о поломках, простоях и других неполадках технических средств и контролирует сроки ликвидации простоев. Этому способствует ведение журнала диспетчера.

Оперативная информация, собранная по итогам дня, экономит рабочее время руководителей и специалистов, так как это позволяет уточнить маршруты и необходимость посещения подразделе-

ний, а не объезжать всех подряд. Этому также способствует планграфик рабочей недели руководителя (прил. 1).

1.5. Собрания, деловые совещания и прием посетителей

Собрания и совещания – это способ коллективного обмена информацией для принятия конкретных решений. Собрания в зависимости от организационно-правовой формы решают вопросы, предусмотренные Уставом предприятия (итоги и планы на будущее). Совещания носят оперативный характер и принимают решения по улучшению текущей работы.

В структуре затрат рабочего времени руководителя деловые совещания и прием посетителей составляют от 15 до 35%.

Основные правила подготовки и проведения делового совещания.

1) Проводится по вопросам, которые руководитель не решает (нецелесообразно) единолично.

2) Заранее планируется место и время проведения, повестка дня, которую заранее доводят до участников.

3) Обязанность руководителя:

– создать деловую спокойную обстановку;

– точно и кратко изложить свои мысли и требовать этого от других;

– требовать соблюдение регламента, порядка и дисциплины; ведение протокола собрания;

– управлять процессами совещания: слушать, наблюдать, фиксировать результат обсуждения проблем, поддерживать новое, гасить конфликты и пресекать критиканство, пустопорожние работы.

4) Присутствуют до 20 квалифицированных по проблеме специалистов, длительность совещания составляет 40-60 мин.

5) Завершается принятием решения с указанием мероприятий и ответственных исполнителей.

Прием посетителей и посещение производственных участков дают руководителю ценную информацию, способствуют решению личных просьб и производственных дел.

Прием посетителей проводится в кабинете в установленные дни и часы. Записывается кто, что и когда должен сделать.

По мнению американского менеджера, каждый сотрудник, входящий в кабинет руководителя, приводит с собой толпу

«обезьян», больших и маленьких проблем, которые он хочет с Вами обсудить. В действительности же он хочет только одного: пересадить «обезьян» со своих плеч на Ваши, чтобы вместо него с ними мучались Вы. Остерегайтесь же этого! Следите за тем, чтобы каждый входящий получил своих «обезьян» назад. Или Вас прельщает роль слуги «обезьян»?

Важное значение в организации труда руководителя является учет особенностей труда на рабочем месте. Сюда входят требования:

- размер кабинета его планировка и офисная мебель;
- шум в пределах от 40 до 60 дб.;
- освещенность порядка 300 лк;
- температура воздуха около 21°С и влажность – от 40 до 60%;
- для окраски подбирать цвета светлые и теплые;
- использовать персональный компьютер, диктофон;
- утром заниматься более сложными и важными делами;
- соблюдать определенный распорядок дня, заниматься физическим трудом, использовать положенный отпуск, спать 7-8 ч в сутки;
- в памяти хранить то, что требуется для хорошей работы, вести записную книжку;
- читать и тренировать речь.

Задание 1. Изучить особенности управленческой деятельности как особой разновидности трудового процесса.

Задание 2. Ознакомиться с понятиями и определениями по содержанию труда руководителя предприятия, выполняющего различные задачи и обязанности.

Задание 3. Изучить элементы организации труда руководителя применительно к организациям и процессам производства.

Задание 4. Сформировать план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения, учитывая контроль и планирование рабочего времени руководителя.

Задание 5. Изучить взаимодействие руководителя с сотрудниками через собрания, деловые совещания и прием посетителей.

Контрольные вопросы

1. Какие функции выполнял собственник производства, работая в одиночку?
2. Понятие «менеджер» и его статус в области знаний и полномочий.
3. Содержание управленческой деятельности менеджера как разновидности трудового процесса.
4. Основные задачи менеджера по управлению производством, материально техническим снабжением и сбытом.
5. Основные задачи менеджера по управлению кадрами, финансами, а также учетом и анализом хозяйственной деятельности.
6. Основные методы и принципы классической школы управления.
7. Какие виды управленческой деятельности впервые сформулировал Л. Файоль?
8. Понятие «система», сущность системного подхода к управлению и основные идеи этой школы.
9. Функциональная структура управления, её достоинства и недостатки (схема).
10. Линейно-функциональная структура управления (схема).
11. Понятие «процесс управления» (схема процесса управления).
12. Основные функции процесса управления, их краткое содержание как виды управленческой деятельности; управленческий цикл (схема).
13. Понятие «план», формы планов.
14. Понятие «функция организации» и ее роль в управлении.
15. Понятие «должность», виды должностных полномочий.
16. Линейные и функциональные полномочия.
17. Делегирование полномочий (сущность и механизм реализации).
18. Организационные методы управления (схема, направленность и содержание).
19. Отношение менеджера к неформальным группам.
20. Принципы формирования рабочего коллектива.
21. Понятие «власть» и ее виды.
22. Понятие «лидерство», роль и качества лидера.
23. Авторитарный стиль руководства.
24. Демократический стиль руководства.
25. Либеральный (пассивный) стиль руководства.

Практическое занятие 2
ТЕХНОЛОГИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА И ПРИНЦИПЫ ИХ КЛАССИФИКАЦИИ

Цель: сформировать представление о технологии растениеводства; систематизировать знания о принципах классификации технологий растениеводства.

Формально любая технология представляет собой операционно-ресурсную матрицу *OPM*, строками которой являются технологические операции *W*, а столбцами – ресурсы *R*, потребные для их реализации, то есть $[OPM_{w,\ r}]$, где $w=1,\ldots,n$; $r=1,\ldots,m$ (рис. 2).

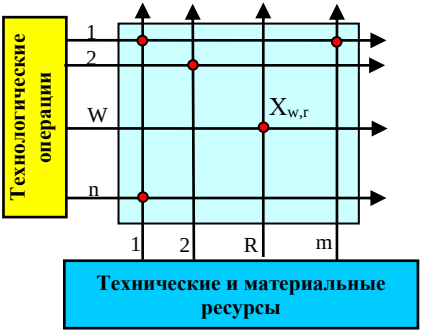


Рис. 2

Основным экономическим показателем технологической операции является ее себестоимость:

$$ZO=ZW+\sum ZC_i,$$

где *ZW* – себестоимость механизированного процесса, руб./га; $\sum ZC_i$ – суммарные затраты на технологические материалы, руб./га.

Для технологии таким показателем является ее себестоимость:

$$ZT=\sum ZO_j+ZY,$$

где *ZY* – удельные накладные расходы предприятия, которое реализует технологию, руб./га.

В целом технология производства конечной продукции есть синтез многочисленных секторов знаний, которые формируют конкретные требования к технологическим процессам и блокам производства. С этой стороны технология является как бы «сборочным цехом» знаний. С другой стороны, технология растениеводства (ТР) – это согласованный между собой набор искусственных воздействий на почвенную биоту, семена и растения, приводящий в заданных почвенно-климатических условиях к получению определенного уровня урожая требуемого качества (рис. 3). В контексте этого определения, ТР представляет не что иное, как алгоритм целенаправленных управляющих воздействий на процессы и объекты, обеспечивающие благоприятные условия для жизни растений. Такая аналогия позволяет свести задачи совершенствования ТР к задачам совершенствования процессов управления, решением которых, как известно, занимается кибернетика с ее развитым методическим и техническим инструментарием. По определению академика Н. В. Краснощекова именно наличие оперативных управляющих воздействий на продукционный процесс является отличием современных интенсивных технологий от их традиционных аналогов.

Технология растениеводства, как объект изучения, представляет собой ***информационно материализуемую, а не материальную основу,*** как это свойственно машинам, семенам, химическим препаратам и т.п. Внешним информационным отражение ТР была и остается технологическая карта, содержащая в себе всю совокупность *производственно-агрономической, технической и экономической* информации, которая необходима для эффективной реализации (материализации) технологии.

Правила составления таких карт, а также алгоритмы их компьютерной верстки, хранения и практического использования требуют введения соответствующих системных процедур, отвечающих современным задачам управления. При этом конечная цель изучения той или иной технологии практически всегда сводится к оценке эффективности управляющих воздействий, обеспечивающих при данных условиях выведение управляемого объекта в зону его возможных оптимальных состояний.

Под таким углом зрения ТР стали изучаться лишь в последние годы, которые знаменуются интенсивным развитием информационных технологий и современных компьютерных систем, позво-

ляющих в рамках компьютерных баз данных по-новому решать многие практические задач сельскохозяйственного производства.

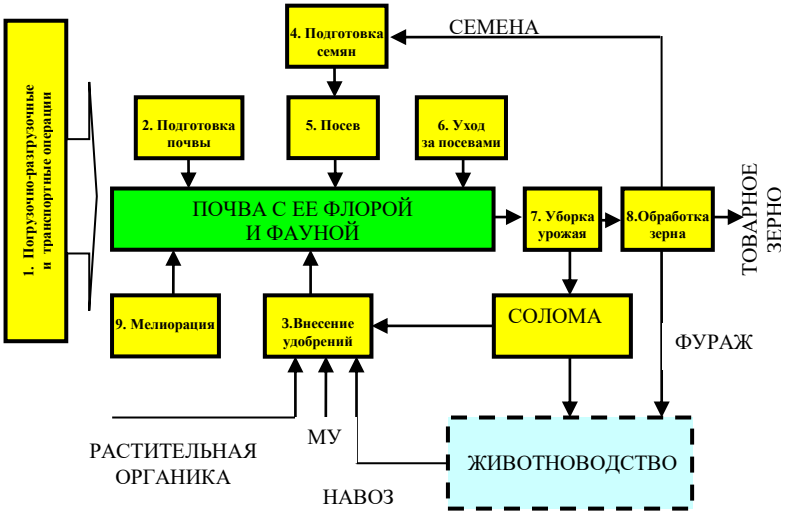


Рис. 3. Обобщенная структурная модель производства продукции растениеводства:
1-9 – технологические модули

По способу организации управляющих воздействий все ТР могут быть отнесены к категории *разомкнутых систем управления.* Для них характерно отсутствие в явном виде общей цепи оперативной обратной связи.

Примечание: сельскохозяйственная технология как объект управления является чрезвычайно инерционной системой. Реакция выходной величины (урожайность с.-х. культуры) на то или иное управляющее воздействие наступает по истечении нескольких месяцев, а иногда и лет. Поэтому ввести корректировку управляющего воздействия в рамках одного производственного цикла практически невозможно. Эту операцию можно выполнить только при новом технологическом цикле.

Эффективность работы таких управляющих систем во многом определяется степенью изученности причинно-следственных связей входных и выходных факторов объекта управления и высочайшей точности исполнения управляющих воздействий. Для ТР такими воздействиями являются машинные технологические

операции. При выполнении каждой такой операции, техника прямо или косвенно взаимодействует на живые биологические объекты. Наиболее интенсивным управляющим воздействиям подвергается почва, которая насыщена жизнью намного больше, чем гидросфера и атмосфера. По существу, вся почва является как бы *живым телом*, в котором непрерывно происходят сложнейшие процессы синтеза и биосинтеза, разнообразные химические реакции, разложение живыми микроорганизмами органического вещества и многие другие, жизненно важные процессы. Описание этих процессов не входит в задачу данной работы, но те требования, которые формулируют специалисты на основе их изучения, в рамках реализуемой технологии являются неукоснительными для исполнения.

Любая технология как объект экспериментальной оценки должна быть однозначно идентифицирована. В современной сельскохозяйственной практике, не смотря на огромное множество имеющихся описаний технологий, их *строгая классификация, отвечающая требованиям создания и поддержки современных электронных баз данных, отсутствует*. В силу этого обстоятельства нет и надлежащей строгости в алгоритмах производственно-экономической оценки технологий. Все это указывает на то, что в данных вопросах существует в настоящее время еще много нерешенных проблем. При этом наибольшая часть этих проблем порождена наличием *пограничных невязок (!)*, которые имеют место на стыках агрономии, механизации сельскохозяйственных процессов и экономики. Без разрешения указанных проблем качественно и объективно оценить сельскохозяйственные технологии практически невозможно.

Введение классификации с одной стороны предопределено необходимостью упорядочивания множества технологий растениеводства, которое порождено как разнообразием культурных растений, так и условиями их хозяйственного производства, а с другой стороны – потребностью хранить большие массивы технологических данных и осуществлять их целенаправленную мониторинговую обработку, что возможно лишь в рамках современных компьютерных баз данных. Потребность в классификации вызвана еще и тем, что сельскохозяйственная наука и практика, имея дело с большим разнообразием растений и условий их выращивания, генерируют огромный поток ценнейшей информации, кото-

рую без современных информационных технологий и средств вычислительной техники трудно систематизировать и оперативно ставить на службу человеку.

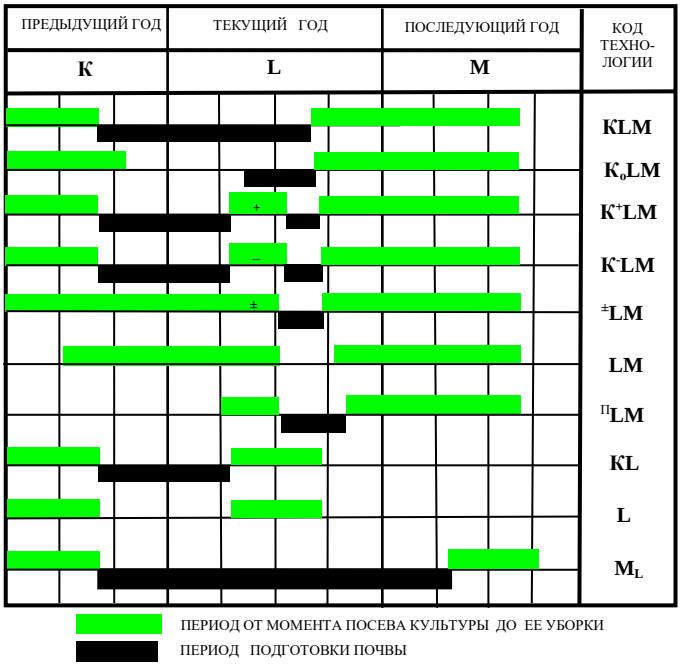


Рис. 4

Так как процесс осуществления любой производственной технологии всегда реализуется во времени, которое порой охватывает период в несколько лет, то наиболее естественным и достаточно универсальным классификационным признаком является временной. Из всех технологий растениеводства наибольшей продолжительностью обладают технологии возделывания озимых зерновых культур по черному пару. Они охватывают период в три года. Обозначив каждый из них своей буквой (*K, L* и *M* – это три последовательно стоящие буквы в латинском алфавите), получим простую и удобную систему классификации (рис. 4).

Формально стартом любой текущей технологии является конец предыдущей. В целом каждую технологию можно разбить на два этапа: предпосевной и послепосевной. Первый, как правило, связан с подготовкой почвы под посев, а второй с севом, уходом за

растениями уборкой урожая. Все операции, связанные с подготовкой почвы, выделены на рисунке 4 черным цветом. В классификационном наборе букв имеют место следующие закономерности.

а) Для всех условных обозначений классов технологий сохраняется алфавитный порядок букв, а их количество однозначно указывает на число лет (кроме M_L), которые потребны для их реализации.

б) Посев всех культур за одним исключением (код M_L) производят в год L.

в) Присутствие в коде верхних и нижних символов указывает на специфические особенности реализации технологических операций в данном году.

В соответствии с принятыми обозначениями и существующей ныне стандартной терминологией имеем десять классов технологий:

1) KLM – технология возделывания озимых зерновых по черному пару;

2) K_oLM – технология возделывания озимых зерновых по раннему пару. Символ K_o указывает на то, что в году K операции механической обработки почвы не производились;

3) K^+LM – технология возделывания озимых зерновых по сидеральному пару. Здесь символ «+» указывает на то, что парозамещаемая культура запахивается в почву в качестве органического удобрения;

4) K^-LM – технология возделывания озимых зерновых по занятому пару. Здесь символ «–» указывает на то, что парозамещаемая культура убирается с поля, а ее стерня подвергается обработке соответствующими почвообрабатывающими орудиями;

5) $^{\pm}LM$ – технология возделывания озимых зерновых на поле из-под многолетних трав. Здесь символ «+» указывает на то, что траву запахивают в качестве органического удобрения, «–» – обработку почвы начинают производить сразу после укоса травы;

6) LM – технология возделывания озимых зерновых с нулевой обработкой почвы. Предшественник: озимые зерновые.

7) ^{n}LM – посев озимых по полупаровой технологии. Вариант, который часто реализуют в южных регионах России, где между уборкой предшествующей культуры и посевом озимых достаточно продолжительный период;

8) *KL* – традиционная технология возделывания яровых, в которой выполняется зяблевая обработка почвы. По этой же технологии выращивают овощные, пропашные и другие культуры;

9) *L* – технология возделывания яровых зерновых культур с нулевой обработкой почвы;

10) M_L – технологии возделывания яровой пшеницы сильных сортов по фонам, подготовленным под посев озимых культур. Таким образом, код данной технологии полностью сохраняет стандартную символику, принятую для озимых культур, лишь дополняя ее для года *M* символом *L*: KLM_L, K_oLM_L и т.д. До последнего времени эти технологии рассматривались как исключение. Поэтому все они для простоты идентификации объединены в один класс M_L. Однако в настоящее время к этим технологиям проявляется повышенный интерес со стороны ученых и производственников, так как они являются эффективным ключом для решения многих актуальных сельскохозяйственных проблем, связанных с повышением качества производимой продукции, а также с сохранением и улучшением плодородия почвы. В том случае, когда технологии данного класса реализуются целенаправленно, их целесообразно кодировать стандартным образом.

Согласно введенной классификации озимые зерновые возделывают по семи различным типам технологий, а яровые зерновые по трем. Каждый тип технологии формирует для машин всю совокупность исходных требований, условий и ограничений. Особенно жесткими из них являются условия по качеству подготовки почвы под посев озимых культур по занятому пару (K^+LM, K^-LM)**,** а также подготовки полей под посев озимых из-под многолетних трав ($^{\pm}LM$)*.* Особенностью указанных технологий является то, что в них технологические операции подготовки почвы производят в летнее время и в крайне сжатые сроки (30-45 дней). За это время почва должна быть вспахана или взрыхлена, измельчена и уплотнена до своих оптимальных для посева значений (1,1-1,25 г/см^3). Все эти технологические операции в идеале необходимо производить без разрыва во времени, т.е. за один проход. С технической точки зрения реализовать в полной мере вышеуказанные агротехнические требования возможно только в рамках использования *комбинированных почвообрабатывающих агрегатов,* совмещающих за один проход крошение почвы, ее уплотнение и выравнивание.

Большим многообразием применяемых способов обработки почвы, а, следовательно, и типов почвообрабатывающих орудий характеризуются технологии черного (*KLM*) и раннего (K_oLM) паров. В общем случае, каждый класс технологии обладает своей сугубо индивидуальной спецификой, требующей для своей реализации соответствующего набора технических средств. Такая взаимосвязь отдельно взятой технологии и технических средств для ее реализации хорошо известна специалистам сельскохозяйственного производства. Она постоянно находит свое отражение в многообразии сельскохозяйственной техники, создаваемой в рамках «Государственной системы машин». Факт взаимосвязи технологии и технических средств всегда подтверждается практикой, он устойчив во времени и пространстве и поэтому, следуя аксиоматическому принципу земледельческой механики, его можно закрепить в виде содержательной аксиомы механизированных технологий (МТ).

Аксиома МТ1. *Реальные задачи производства продукции растениеводства всегда имеют множество технологических и технических решений, каждое из которых характеризуется своим уровнем эффективности.*

Следствие МТ1.1. *Одним ограниченным набором даже самых универсальных машин невозможно реализовать в растениеводстве с равно высокой эффективностью все классы машинных технологий.*

Следствие МТ1.2. *Каждая технология для своей эффективной реализации требует своего оптимального набора сельскохозяйственной техники.*

Практика также подтверждает факт того, что величина показателя себестоимости технологии при ее перемещении из одной географической точки в другую сохраняет свое относительное постоянство. Этот факт так же, как и предыдущий закрепим в виде содержательной аксиомы.

Аксиома МТ2. *При материальном перемещении технологии и технических средств для ее реализации из страны в страну или одной почвенно-климатической зоны в другую величина себестоимости самой технологии остается практически неизменной, а урожайность и качество продукции может изменяться в широких пределах.*

Следствие МТ2.1. *Технология, которая при своем перемещении из одной географической точки в другую не обеспечивает на новом месте сохранность или прирост величины и качества производимой продукции, соответствующей исходному месту, не может выступать в качестве рыночного товара.*

Сформулированные аксиомы нацелены на то, чтобы вооружить специалистов сельскохозяйственного производства действенным инструментом оперативного распознавания научно обоснованных рекомендаций, эффективных технических и технологических предложений от их рекламных аналогов. В условиях рыночной экономики подобного рода явления встречаются повсеместно.

Задание. Изучить модель растениеводства и принципы его классификации. Законспектировать основные положения и формульные выражения, проанализировав связь экономической эффективности применительно к конкретным технологиям, сельскохозяйственным машинам и оборудованию.

Контрольные вопросы

1. Перечислите в классификационном наборе имеющие место закономерности.
2. Стандартная терминология имеет десять классов технологий. Перечислите их.
3. Что такое набор техники?
4. Технология растениеводства.
5. Описать технологию, представляющую собой операционно-ресурсную матрицу (*ОРМ).*

Практическое занятие 3
КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПО КРИТЕРИЮ ИХ ИНТЕНСИВНОСТИ. БАЗОВЫЕ ФАКТОРЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ

Цель: технико-экономическое обоснование проектов в профессиональной деятельности.

Этот принцип классификации технологий заложен в основу построения Федерального регистра технологий. В соответствии с принятым критерием все технологии разбиты на три класса интенсивности: А, Б, В.

Высокие технологии (класс А) – система получения наивысшей урожайности высококачественного зерна с компенсацией

выноса питательных веществ урожаем, окупающая финансовые, энергетические и трудовые затраты с использованием новейшей базы высокоинтенсивных сортов, комплексной защиты растений от вредителей, болезней, сорняков, применения удобрений, обеспечивающих реализацию потенциала сорта более 85% и производительностью труда ниже 3,5 чел.-ч/т.

Интенсивные технологии (класс Б) – система получения качественного зерна с компенсацией выноса питательных веществ урожаем, с мерами по защите растений от наиболее опасных болезней, вредителей, сорняков, обеспечивающая реализацию потенциала сорта выше 65% и производительностью труда ниже 4,5 чел.-ч/т.

Нормальные технологии (класс В) – система получения зерна с максимальным использованием плодородия почвы и ресурсов агроландшафта, биологического потенциала сорта с его реализацией более 50% и производительностью труда 6,5 чел.-/т.

Все эти технологии в качестве базового критерия классификации используют показатель уровня реализации биологического потенциала сорта, то есть показатель реально полученной его урожайности. На практике это привело к тому, что технологии стали разделять по классам *А, Б* и *В* не по набору технологических операций и используемым ресурсам производства, а по уровню полученной урожайности. Это в корне противоречит той концепции, которая заложена в основу данной классификации.

Интенсивная *АБВ* и временная *KLM* классификации не противоречат друг другу и используются в данной работе совместно.

Материальные ресурсы интенсификации: сорт; минеральные и органические удобрения; пестициды (протравители, гербициды, фунгициды, инсектициды, ретарданты).

Задание. Ознакомиться с классификацией технологий по критерию их интенсивности. Законспектировать базовые факторы, позволяющие применять технико-экономическое обоснование проектов в профессиональной деятельности.

Контрольные вопросы

1. Принцип классификации технологий.
2. Дайте определение термину «высокие технологии».
3. Дайте определение термину «интенсивные технологии».
4. Дайте определение термину «нормальные технологии».
5. Перечислите материальные ресурсы интенсификации.

Практическое занятие 4
СИСТЕМА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАШИННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА

Цель: изучить особенности системы показателей эффективности машинной технологии производства продукции растениеводства.

Технология представляет собой фиксированный набор технологических операций, выполняемый в заданные агротехнические сроки техническим комплексом машин (рис. 5). Каждая технологическая операция сама по себе не производит сельскохозяйственную продукцию, а воздействует лишь в той или иной мере на факторы, определяющие рост и развитие растений. С позиций системного анализа такие воздействия относятся к категории управляющих.

Поэтому любую машинную технологию производства растениеводческой (равно как и животноводческой) продукции можно рассматривать как управляющую систему со слабо выраженным контуром общей обратной связи.

Себестоимость технологии $СС_т$ определяют по формуле

$$СС_т = \sum C_i + \sum Ц_j \cdot M_j,$$

где $C_i = Z_i / W_i$ – удельная себестоимость выполнения i-й машинной операции, руб./га; Z_i – часовые эксплуатационные затраты агрегата, руб./ч; W_i – производительность агрегата, ед./ч; $Ц_j \cdot M_j$ – затраты на использование в технологии j-го материала, руб./га; $Ц_j$ – цена j-го материала, руб./ед.; M_j – количество j-го технологического материала, ед./га.

Себестоимость продукции $СС_п = СС_т / У$ – это высокоинформативный экономический показатель, но в сравнительном экономическом анализе его можно использовать лишь при сравнении технологий, реализуемых в одинаковых почвенно-климатических условиях. Показатель себестоимость продукции находится в прямой пропорциональной зависимости от себестоимости технологии и в обратно пропорциональной зависимости от фактически получаемой урожайности поля. В свою очередь, сама урожайность $У$ находится в сложной функциональной зависимости от вида и качества выполнения технологических операций, а также воздействий многочисленных почвенно-климатических, аэроландшаф-

тных и географических факторов *Ψ*. Последние, как известно, *оказывая ограничивающее воздействие на урожайность и качество получаемой продукции, сами по себе в рамках заданной технологии не могут быть нейтрализованы.* На деле это приводит к тому, что при переносе или экспорте любой технологии растениеводства из одной географической точки в другую ее себестоимость остается практически неизменной, а объем и качество получаемой при этом продукции подвержены сильным изменениям.

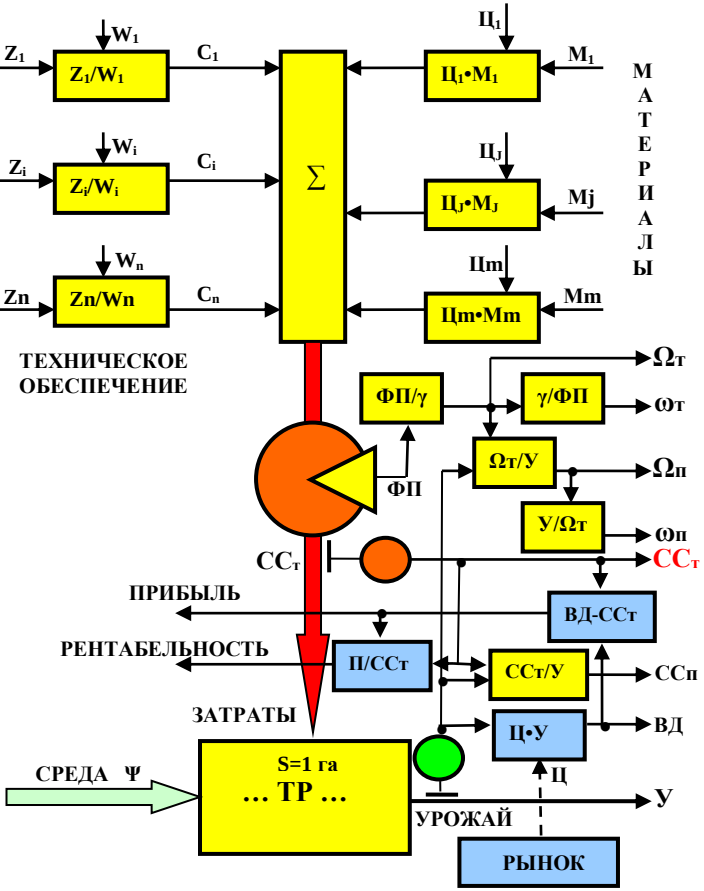


Рис. 5

Себестоимость технологии $СС_т$ складывается из затрат овеществленного $СС_{то}$ и живого $СС_{тж}$ труда. На практике величина затрат живого труда находит свое отражение в величине фонда потребления *ФП*, из которого производят выплаты заработной платы. В нашем примере $СС_{тж}=ФП$.

В научной и производственной практике наряду с показателем себестоимости технологии $СС_т$ используют также и целый ряд других показателей:

$$СС_т=СС_{то}+СС_{тж}= СС_{то}+ФП;\ СС_п=СС_т/У;\ Ω_т=ФП/γ;\ ω_т= γ /ФП;$$
$$Ω_п= Ω_т/У;\ ω_п= У /Ω_т;\ ВД=Ц·У;\ П=ВД-СС_т;\ R=П·100/СС_т,$$

где $Ω_т$, $Ω_п$ – трудоемкость соответственно технологии и продукции, чел.-ч/га, чел.-ч/ц; $ω_т$, $ω_п$ – производительность труда, га/чел.-ч, ц/чел.-ч; *ВД* – валовой доход, руб.; *Ц* – реализационная цена зерна, руб./ц; *П* – прибыль, руб.; *R* – рентабельность производства, %; **γ** – средняя величина часового фонда потребления одного работника сельскохозяйственного производства.

Из приведенного перечня автономных оценочных экономических показателей независимым является лишь показатель себестоимости технологии $СС_т$, который для нее является определяющим. Все другие показатели за исключением валового дохода имеют с ним функциональную зависимость и в силу этого обстоятельства не могут претендовать для технологии на роль ее главного экономического показателя. Что же касается таких общепризнанных экономических показателей как прибыль *П* и рентабельность *R*, то из рассмотренного алгоритма видно, что при их расчетах участвует величина себестоимости технологии. Однако численные значения этих экономических показателей во многом определяются рыночной ценой *Ц* на реализуемую продукцию и продуктивными возможностями технологии. При этом продуктивность поля зависит не от абсолютных денежных затрат на выполнение тех или иных технологических операций, а главным образом от качества их выполнения.

Задание. Дать анализ себестоимости технологии и продукции, как важнейших показателей экономической эффективности производства.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятиям «себестоимость», «себестоимость технологии», «себестоимость продукции».
2. Понятие технологии.

Практическое занятие 5
ПРОБЛЕМА РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Цель: сформировать представление о необходимости ресурсосбережения; изучить методы формирования механизма управления ресурсосбережением на предприятии.

Известно, что наиболее действенным и универсальным инструментом повышения эффективности любого процесса товарного производства, в том числе и сельскохозяйственного, является ресурсосбережение. Границы применимости этого инструмента и его возможности в сильной степени зависят от того, в чьих руках он находится. Рассмотрим проблему ресурсосбережения на уровне сельского товаропроизводителя.

Для сельских товаропроизводителей ресурсы – это техника, топливо, материалы, рабочая сила, земля и другие средства производства.

Технологию, которая в сравнении с аналогом требует для своей реализации меньшего расходования совокупных материальных ресурсов, называют ресурсосберегающей. При этом в силу объективной разнородности используемых ресурсов совокупный их расход в этих технологиях рассчитывают не в физических, а денежных единицах измерения. Таким образом, термин ресурсосберегающие технологии однозначно можно распространить только на малозатратные технологии. Благодаря только этому и никакому другому свойству стратегия ресурсосбережения заняла в настоящее время главенствующее положение во всех федеральных и региональных программах совершенствования сельскохозяйственного производства. Появление в названии любого производственного процесса, технологии или машины определения «***ресурсосберегающий»*** должно являться несомненным признаком того, что каждый из указанных объектов впитал в себя все наиболее эффективные в плане ресурсосбережения решения, которые в состоянии дать производству современная наука, техника и передовой опыт.

Однако на практике производственные технологии очень часто относят к разряду ресурсосберегающих не по критерию совокупного расходования материальных ресурсов, а по факту наличия физической экономии одного или нескольких ресурсов. К примеру,

по этому критерию в разряд ресурсосберегающих отнесены *все технологии производства зерна, в которых энергоемкая операция основной обработки почвы отвальными плугами заменена менее энергоемкой операцией ее мелкого рыхления, обеспечивающей экономию топлива и снижение трудовых затрат.* В терминах математики это необходимое условие, но оно является недостаточным.

Во-первых, практика не исключает таких вариантов, в которых из-за стоимости техники рыхление почвы может оказаться дороже ее пахоты. Примером тому является операция дискования почвы, себестоимость которой при использовании современных дискаторов в два и более раза превышает себестоимость обработки почвы плугом ПБС-7/9.

Во-вторых, реальное производство изобилует множеством примеров, в которых экономия одних ресурсов сопровождается еще более интенсивным расходованием других (эффект внутреннего перераспределения ресурсов). Зерновые технологии в этом плане не являются исключением. Переход на мелкое рыхление почвы влечет за собой увеличенный расход химических препаратов для борьбы с сорняками. При этом их стоимость во многих случаях оказывается выше того эффекта, который получают в результате указанной замены.

Оценочным показателем уровня ресурсосбережения любого производственного объекта является себестоимость его полезного функционирования. Научно обоснованные технологии производства зерновых, а также почвенно-климатические условия Самарской области способны обеспечить устойчивое получение средней урожайности яровой пшеницы в 20-25 ц/га, а озимой пшеницы – 30-40 ц/га, с выходом продовольственного зерна не менее 60% (60% – зерно третьего класса, 30% – четвертого и 10% – пятого класса). Заметим, что по технологии яровой пшеницы возделывается и ячмень. Себестоимость научно обоснованной технологии является *предельно минимальной величиной* и ее дальнейшее снижение без нарушения самой технологии невозможно.

Сельский товаропроизводитель, который, с одной стороны, строго исполняет предписания рекомендованной технологии, практически не имеет никаких рычагов по дальнейшему снижению ее себестоимости, кроме варианта уменьшения фонда собственной заработной платы. Однако на долю этого производственного ресурса приходится всего лишь 2-3% и его экономия ценою такого

пожертвования практически не дает ощутимого эффекта. С другой стороны, тот же производитель, идущий по той или иной причине на нарушение рекомендуемой технологии, получает взамен широкую свободу действий, как в расходовании, так и в сбережении производственных ресурсов вплоть до полного исключения некоторых из них из технологического процесса. Движущим мотивом такой стратегии ресурсосбережения является уже не создание оптимальных условий для произрастания растений, сохранения почвенного плодородия и безусловного использования высокоэффективной сельскохозяйственной техники, как это предусмотрено в научной стратегии ресурсосбережения, а сохранение любым способом самого процесса производства и удержание его в структуре современных рыночных отношений.

Крестьянская стратегия ресурсосбережения. Прием экономии материальных ресурсов методом усечения или их исключения из технологии вольно или невольно используют в настоящее время многие производители сельскохозяйственной продукции. Несоблюдение научных рекомендаций при практической реализации технологии всегда влечет за собой фактическое уменьшение урожайности и снижение качества получаемой продукции. Примером тому могут служить результаты хозяйственной деятельности многих сельскохозяйственных предприятий Самарской области.

Производственники в первую очередь из научно обоснованной технологии убирают элитные семена, которые стоят примерно в два-три раза дороже товарного зерна, и переходят на использование семян собственного производства. Далее исключают из технологии обработку гербицидами и защиту растений от болезней и вредителей, сокращают дозу внесения минеральных удобрений. Все это происходит на фоне использования морально устаревших и физически изношенных машин и орудий. Такая стратегия ***«крестьянского ресурсосбережения»*** влечет за собой снижение урожайности зерновых культур и получения продукции с низкими технологическими и экологическими показателями.

Крестьянская стратегия ресурсосбережения – это вынужденная стратегия продления жизни убыточного производства за счет урезания или исключения из него тех или иных ресурсов. Она не носит созидательного характера, так как не обеспечивает должных условий для нормального функционирования производства. Положительная рентабельность, получаемая в рамках этой стратегии,

является иллюзорной и она не может по-настоящему вывести товарное производство из состояния его объективной убыточности. Более того, попадая в государственную статистическую отчетность, она до неузнаваемости искажает реальное положение дел в сельскохозяйственном производстве и этим способствует не только оттягиванию сроков принятия действенных мер по выводу его из состояния хронической убыточности, а в некоторых случаях даже к их полному блокированию.

Негативные последствия искаженного понимания ресурсосбережения настолько серьезны, что по данной проблеме в открытой печати выступил акад. Н. В. Краснощеков, указывая на то, что *большинство отождествляет ресурсосбережение с экономией, сокращением применения материально-технических ресурсов в технологическом процессе получения продукции – меньше вносить удобрений, средств защиты растений от болезней и вредителей, сокращать, а иногда и ликвидировать обработки почвы и т.д. Это обмачивая экономия и тем более «выгода». Примером негативного результата является массовое освоение в Самарской области так называемого «сберегающего земледелия» – нулевых обработок почвы, который показан по статистическим отчетам в сравнении с окружающими область регионами, работающими на традиционных обработках почвы.*

Видно, что широкое освоение сберегающего земледелия по типу Самарской области, основанного на необоснованном, бессистемном применении нулевых почвообработок, как правило, приводит к снижению урожая. Не всегда достигается и экономия энергоресурсов, поскольку ее снижение при почвообработке сопровождается для стабилизации урожая дополнительными их затратами на дополнительное удобрение и пестициды и т.д. По этой причине эта область в годы модернизации земледелия устойчиво снизила урожайность различных культур в сравнении с окружающими регионами, где в используемых севооборотах применяются различные типы обработок.

Правомерность высказанной критики в адрес аграрного производства Самарской области требует детального изучения, которое возможно лишь на основе анализа обследования реального состояния дел с техническим и технологическим обеспечением сельскохозяйственных предприятий области. Рассмотрим структуру ресурсов, используемых для производства зерна (рис. 6).

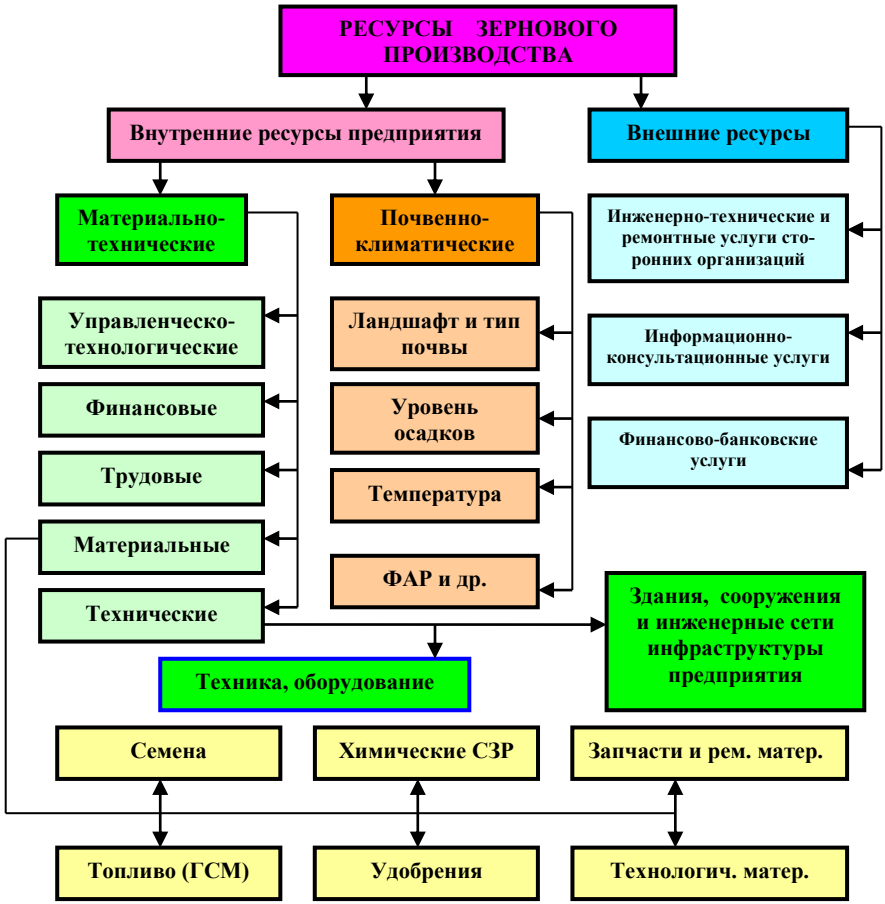


Рис. 6. Структура ресурсов зернового производства

Внутренние ресурсы. Это ресурсы, которыми располагает предприятие для осуществления своей хозяйственной деятельности. В свою очередь внутренние ресурсы делятся на две категории: *материально-технические и почвенно-климатические.* Последний ресурс является во времени относительно консервативным (постоянным). Он в основном определяет потенциальную продуктивность полей данного предприятия. В свою очередь материально-технический (производственный) ресурс предприятия, являясь менее постоянным во времени, обеспечивает необходимые

условия выполнения самого процесса производства сельскохозяйственной продукции.

Физический смысл каждого из ресурсов, используемых при производстве зерновых культур, ясен из структурной диаграммы. Поэтому не будем их подробно описывать. Заметим лишь, что в категорию материально-технических ресурсов включен *управленческо-технологический* ресурс. Он характеризует уровень профессиональных знаний руководства предприятия и его умения управлять процессом реализации (внедрения) новых технологий возделывания зерновых культур в условиях реального производства. Данный ресурс трудно оценить как количественно, так и качественно. Но то, что он имеет место быть и при этом играет не последнюю роль в эффективности работы любого предприятия это факт, который не подлежит сомнению.

Внешние ресурсы. Современное производство практически немыслимо без привлечения внешних ресурсов. Оплата этих ресурсов производится в первоочередном порядке и поэтому они для предприятия имеют характер оборотных средств. Предприятие, у которого в структуре себестоимости производства высокий удельный вес приходится на оборотные средства, обладает меньшим иммунитетом сохранности производства на рынке. В силу этого обстоятельства стратегия привлечения внешних ресурсов должна быть экономически взвешенной. При этом наибольшего внимания со стороны руководителей предприятий заслуживают инженерно-технические и технологические услуги, предоставляемые современными машинно-технологическими станциями.

Задание. Выявить проблемы ресурсосбережения, основные особенности производства зерна, обсудить различные мнения ученых о проблеме ресурсосбережения.

Контрольные вопросы

1. Крестьянская стратегия ресурсосбережения.
2. Структура ресурсов, используемых для производства зерна.
3. Технологии производства зерна.
4. Дайте определение понятию «ресурсосбережение».
5. Что понимают под управленческо-технологическим ресурсом.

Практическое занятие 6
МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА МАШИНОТРАКТОРНОГО ПАРКА, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В МЕТОДИКАХ ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН

Цель: изучить основные критерии при сравнении отдельных отраслей или технологий; выявить основное отличие отечественных методик экономической оценки от их европейских аналогов.

6.1. Маржинальная методика европейских стран

В теории принятия управленческих решений и анализе хозяйственной деятельности предприятия, которые основаны на рассмотрении *предельной полезности*, главным показателем сравнительной экономической эффективности является ***маржинальный доход*** – разница между выручкой и прямыми переменными затратами. Этот показатель наиболее часто используется в зарубежной практике в качестве основного критерия при сравнении отдельных отраслей или технологий. Кроме показателя относительной эффективности или предпочтительности технологии, важное место в экономическом анализе занимает также показатель абсолютной эффективности, связанный с расчетом прибыли. Алгоритм расчета данного показателя использует полную себестоимость продукции $CC=X+Y+Z$, где X, Y, Z – соответственно переменные, постоянные распределенные, распределенные общепроизводственные и общехозяйственные затраты (рис. 7).

Условные обозначения: R_r, R_p – рынки ресурсов производства и произведенной продукции; $X=X_o+X_n$ – переменные затраты; X_o – прямые переменные затраты; X_n – прочие прямые переменные затраты; *...П...* – производственный процесс; $T\ (N_m,\ K_m)$ – товар, имеющий соответственно количественный N_m и качественный K_m показатели; S – рыночная цена реализуемого товара; B – выручка; CC – себестоимость производства товара; $П$ – чистая прибыль; $MD1=B-Xo$ – маржинальный доход; $MD2=B-X$ – сравнительный маржинальный доход; ○ – блоки арифметических операций

Назначение показателей при сравнительном анализе.

Маржинальный доход *(MD)* – характеризует относительную эффективность одной технологии перед другой.

Прибыль *(П)* – характеризует абсолютную эффективность технологии.

Производственные затраты *(СС)* – характеризует конкурентоспособность технологии и оценивает уровень цены реализации.

Урожайность и продуктивность *(Т)* – характеризует техническую эффективность технологии.

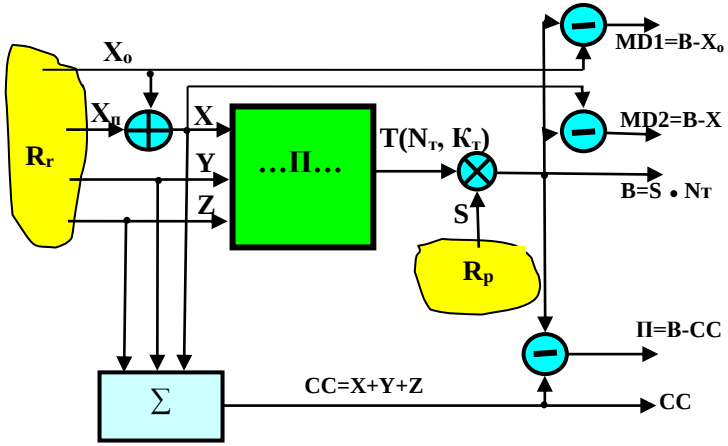


Рис. 7. Формирование основных показателей экономической эффективности производства товарной сельскохозяйственной продукции в Германии

Главное отличие отечественных методик экономической оценки от их европейских аналогов состоит в том, что в них отсутствует показатель «маржинального дохода». Принципиальных ограничений для его расчета в рамках ЧЭЗ-методики нет, так как в структуре себестоимости технологии (услуг) учитываются все затратные статьи, которые входят в категорию переменных затрат *X* (табл. 1).

Однако большой необходимости в этом нет, так как показатель «маржинального дохода» не обладает свойством относительного постоянства при экспорте и импорте технологий растениеводства. Этим свойством в силу аксиомы *TM2* обладает лишь показатель себестоимости технологии.

Из рассмотренного алгоритма расчета показателя «маржинального дохода» видно, что его структура включает в себя постоянные распределенные затраты, представляющие собой в основном амортизационные отчисления основных средств производства, чистую прибыль от реализации товарной продукции, распределенные общепроизводственные и общехозяйственные затраты. Объ-

единяет эти статьи то, что неполное или нулевое их покрытие выручкой не приводит сельскохозяйственное предприятие на очередном производственном цикле к сокращению объемов производства или его полному прекращению.

Таблица 1

Структура переменных затрат европейских методик экономической оценки технологий

№пп	Наименование затратных статей	ХО	ХП
1	Семена	+	-
2	Минеральные удобрения	+	-
3	Средства защиты растений	+	-
4	Переменные эксплуатационные затраты техники: ГСМ	+	-
5	Переменные эксплуатационные затраты техники: затраты на текущий ремонт	+	-
6	Оплата привлеченной техники	+	-
7	Оплата труда сезонных работников	+	-
8	Первичная обработка семян, сушка и пр.	+	-
9	Страховые платежи	+	-
10	Процент на связанный оборотный капитал	+	-
11	Затраты на оплату труда постоянных работников	-	+

Наиболее полное объяснение феномена живучести сельскохозяйственных предприятий получено авторами данной работы в рамках анализа свойств так называемых «ресурсных очередей». В общем случае уровень выручки обуславливает перевод производства в одно из следующих состояний:

1) $CC+П_o<B$ – расширенное воспроизводство;

2) $CC+П_o>B\geq CC$ – простое воспроизводство;

3) $X \leq B<CC$ – еще работоспособное, но экономически убыточное производство;

4) $X>B$ – сворачивание объемов производства и его прекращение.

В приведенных неравенствах показатель $П_o$ характеризует пороговое значение прибыли, обеспечивающей условия реализации расширенного воспроизводства. Условия расширенного и простого воспроизводства не проявляют явно выраженных стимулов для формирования и практического использования «ресурсных очередей». Иное дело, когда предприятие попадает в зону убыточности. Принцип самосохранения производства вынуждает его руководство искать оптимальные последовательности восстановления потраченных ресурсов, которые позволили бы обеспечить жизнедеятельность предприятия на его последующем производственном

цикле. Ясно, что это достигается ценой определенных потерь. Из анализа указанных неравенств видно, что «маржинальный доход» представляет собой *пороговый критерий,* который оценивает возможность предприятия сохранять на очередном производственном цикле в неизменном виде свое присутствие на рынке: $MD \geq 0$ – сохраняет; $MD \leq 0$ – не сохраняет.

Издержки на связанный капитал. В европейской практике вмененные издержки рассчитывают на весь связанный (производственный) капитал, то есть учитывают не только вложения в основные средства производства, но также и вложения в оборотные средства производства. При этом каждый ресурс оборотных средств может иметь различную продолжительность краткосрочного кредита. Для упрощения расчетов в работе рекомендуется для отрасли растениеводства принять для всех ресурсов срок в шесть месяцев. В ЧЭЗ-методике эта норма не используется, но ее включение возможно без каких-либо трудностей.

6.2. Структура себестоимости технологии производства зерна в США

В США затраты, включаемые в себестоимость технологии производства зерна, делятся на две категории: эксплуатационные затраты и накладные расходы (табл. 2).

Состав эксплуатационных расходов в основном соответствует составу переменных затрат европейских методик, за исключением учета затрат на оплату наемного труда. Таблица 2 заимствована из американского CAR-руководства. Её данные отражают реальное состояние дел по производству зерна пшеницы в США, сложившихся в 2001, 2002 гг. Убытки производителей зерна пшеницы в эти годы составили соответственно 46,3 и 45,8% (строка 5, табл. 2). При этом маржинальный доход в этой отрасли сельскохозяйственного производства имеет всегда положительное значение (строка 6, табл. 2). Таким образом, в 2003 г. американские производители пшеницы сохранили ее производство в прежних объемах. Однако без покрытия текущих убытков со стороны государства данное производство не может длительно существовать.

В описанном варианте применения показателя *MD* основное значение имеет его знак, а не абсолютное численное значение. В силу этого обстоятельства само по себе абсолютное значение *MD* не несет в себе полезной в практическом плане информации.

Таблица 2

Структура себестоимости технологии производства пшеницы в США

№ пп	Наименование	США			
		национальные единицы измерения		метрические единицы измерения	
		2001	2002	2001	2002
1.	ДОХОД, $/акр* ($/га)	98,40	95,15	243,15	235,12
1.1.	Основной продукт: зерно	95,22	91,51	235,29	226,12
1.2.	Вторичный продукт: солома	3,18	3,66	7,86	9,04
2. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ЗАТРАТЫ, $/акр ($/га)					
2.1.	Семена	6,34	6,65	15,67	16,43
2.2.	Удобрения	23,90	17,71	59,06	43,76
2.3.	Химикаты	7,20	7,13	17,79	17,62
2.4.	Таможенные сборы	6,37	6,67	15,74	16,48
2.5.	Топливо, смазка и электричество	9,19	8,67	22,71	21,42
2.6.	Ремонт	10,24	10,15	25,30	25,08
2.7.	Плата за орошение и за сбор соломы	0,62	0,61	1,53	1,51
2.8.	Ставка банковского кредита	1,08	0,48	2,67	1,19
	Всего	64,94	57,07	160,47	141,02
3. НАКЛАДНЫЕ РАСХОДЫ, $/акр ($/га)					
3.1.	Наемный труд	2,45	2,53	6,05	6,25
3.2.	Альтернативная цена неиспользованного труда	16,00	16,72	39,54	41,32
3.3.	Амортизация	49,40	48,97	122,07	121,00
3.4.	Арендная плата за землю	39,54	39,19	97,70	96,84
3.5.	Налоги и страховка	3,91	3,90	9,66	9,64
3.6.	Прочие расходы	7,1	7,25	17,54	17,91
	Всего	118,40	118,6	292,57	292,96
4.	Всего затрат, $/акр ($/га)	183,34	175,6	**453,03**	**433,98**
5.	Доход – все затраты	-84,94	-80,46	-209,9	-198,9
6.	Доход – эксплуатационные затраты	33,46	38,10	82,68	94,1
7. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ					
7.1.	Урожай, бушель/акр (ц/га)	34,5	27,9	**23,27**	**18,81**
7.2.	Цена продажи, $/бушель** ($/ц)	2,76	3,28	10,11	12,02
* 1акр=0,405 га; ** 1 бушель=36,368 л • 0,75кг/л=27,276 кг.					

Данные таблицы 2 по показателю продуктивности поля и себестоимости технологии производства пшеницы доказывают, что эти технологии не являются самыми эффективными в мире, как это повсеместно представляют СМИ. Урожайности вполне соизмеримы с продуктивностью российских полей, а себестоимость машинных технологий, выполняемых «высоко затратной» и «ненадежной», по мнению зарубежных аналитиков, отечественной техникой, оказывается в 3-4 раза ниже американской технологии. Такое положение дел в полной мере вписывается в категорию сельскохозяйственных парадоксов.

Задание 1. Изучить маржинальную методику европейских стран с технико-экономическим обоснованием.
Задание 2. Охарактеризовать структуру себестоимости технологии производства зерна и особенности производства пшеницы в США.

Контрольные вопросы

1. Издержки на связанный капитал.
2. Что такое маржинальный доход?
3. Характеристика структуры переменных затрат европейских методик экономической оценки технологий.
4. Структура себестоимости технологии производства зерна.
5. Дайте определение понятию себестоимость продукции.

Практическое занятие 7
МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОТРЕБНОГО МАШИНОТРАКТОРНОГО ПАРКА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ МАШИННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕРНА

Цель: развить умение расчёта потребного машинотракторного парка; ознакомиться с различными видами экономической эффективности применительно к конкретным технологиям, сельскохозяйственным машинам и оборудованию.

Технологическая карта, как известно, содержит в себе *агрономическую, техническую и экономическую* информацию, необходимую для эффективной реализации механизированной технологии растениеводства.

Совместить в рамках одной даже сложной формы технологической карты всю полноту исходных и расчетных данных по каждой составляющей сложно. Поэтому для практики, которая широко использует возможности современной вычислительной техники, естественным является переход на использование *интегрированных технологических карт* (ИТК), адаптированных к условиям их использования в компьютерных базах данных. ИТК состоит из набора связанных между собой простых по форме и дифференцированных по информационному содержанию технологических карт.

Для целей испытаний, хозяйственной практики и решения научных задач достаточным является набор, который состоит из пяти карт: карта производственных операций (форма ИТК-1);

карта технической реализации (форма ИТК-2); состав технических средств (форма ИТК-3); карта прямых удельных технических затрат (форма ИТК-4); себестоимость технологии (форма ИТК-5).

Структуру ИТК и алгоритм определения основных технико-экономических показателей механизированных технологий рассмотрим на примере технологии производства озимой пшеницы по черному пару, которую применяет ЗАО «Самара-Солана». Реализуется она на производственном поле площадью 824 га. Предшественник – черный пар. Технология по временной классификации относится к классу *KLM,* а по уровню интенсивности к разряду нормальных технологий *B*. Плановая урожайность 30-35 ц/га. Расчет выполнен в ценах 2007 г. Стоимость дизельного топлива 17,0 руб./кг; часовая заработная плата 122,1 руб./ч. Машинно-тракторный парк предприятия укомплектован в основном техникой зарубежного производства.

7.1. Карта производственных операций (форма ИТК-1)

Составляют ее специалисты агрономической службы. По существу данная карта представляет собой реализационную модель технологии, содержащую определенный набор технологических операций и условий для их выполнения (табл. 3). Во многом приведенная форма описания технологии совпадает с формой существующего Федерального Регистра. Отличие лишь в том, что в описание технологии введены дополнительные графы 3 и 4, которые соответственно уточняют годичную последовательность выполнения производственных операций и регламентируют продолжительность их реализации в днях. Последний показатель (графа 4) используется в алгоритме определения потребности технологии в машинных агрегатах, где он формирует величину планового ресурса времени, отводимого для выполнения той или иной технологической операции.

Технологии возделывания озимых зерновых культур в сравнении с яровыми имеют менее жесткие требования к продолжительности периода посева, что, в конечном счете, способствует снижению потребности хозяйства в посевных агрегатах.

Таблица 3

Карта производственных операций

Культура: озимая пшеница.
Технология: минимальная с GPS/ГЛОНАСС. ***Техника:*** импортная.
Плановая урожайность: 35 ц/га.
Площадь: 824 га.

Форма ИТК-1

№	Наименование операций	Год	Дни	Рабочий день, ч	Исходные требования	Тип техники
1	2	3	4	5	6	7
1	Лущение стерни	К	7	10	На глубину 10-12 см	Борона дисковая
2	Внесение МУ с GPS/ГЛОНАСС системой	L	3	10	Под предпосевную культуру. Карбамид 50 кг/га	Разбрасыватель удобрений
3	Дискование почвы	L	5	14	На глубину 10-12 см	Борона дисковая
4	Протравливание семян	L	5		С увлажнением из расчета 0,5 л/т семян Винцит 1,5 л/т и 10 л/т семян воды	Протравливатель семян
5	Посев	L	5	14	Посев на глубину 4 см, норма высева 200 кг/га	Сеялка зерновая
6	Погрузка удобрений	М	3	–	–	Погрузчик фронтальный
7	Транспортировка удобрений	М	3	–	Расстояние перевозки до 10 км	Автотранспорт
8	Внесение МУ с GPS/ ГЛОНАСС системой	М	3	10	Подкормка, карбамид 120 кг/га	Разбрасыватель удобрений
9	Обработка гербицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	М	5	10	Опрыскивание Прима нормой 0,6 л/га против двудольных сорняков в фазе кущения культуры и 2-4 листа у сорняков. Расход воды 200-300 л/га	Опрыскиватель
10	Обработка фунгицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	М	5	10	Опрыскивание в фазу флагового листа Рекс Дуо нормой 0,5 л/га. Расход воды 200-300 л/га	Опрыскиватель
11	Обработка инсектицидом с GPS/ГЛОНАСС системой	М	5	10	Опрыскивание в фазу молочной спелости от клопа-черепашки Альтерр нормой 0,15л/га	Опрыскиватель
12	Прямое комбайнирование с измельчением соломы	М	7	14	–	Комбайн зерноуборочный
13	Отвоз зерна от комбайнов	М	7	–	Расстояние перевозки до 10 км	Автотранспорт
14	Первичная очистка зерна	М	7	–	Сразу после уборки	

7.2. Карта технической реализации (форма ИТК-2)

Данная форма (табл. 4) содержит данные о конкретном виде мобильных сельскохозяйственных агрегатов и другой техники, а также расчетные значения ее потребного количества, которое необходимо для успешной реализации технологии в целом на площади заданного производственного поля. В общем случае поле может иметь различную по величине площадь, а вместе с этим и различную потребность в технике для его обслуживания.

Однако для решения задач технического оснащения сельскохозяйственного производства и получения достоверных оценок сравнительной эффективности машинных технологий необходимо модельные расчеты осуществлять методом их наложения на одинаковые по площади производственно-технологические модули: зерновые – 1000 га, картофель – 100 га, овощи – 10 га.

Удельную потребность технологии в агрегатах (табл. 4; графа 8) рассчитывают по формуле

$$k_A = 1/(W\text{э} \cdot \tau_n),$$

где k_A – удельная потребность технологии в агрегатах, шт./га; $\tau_n = \tau_o \cdot \tau_1$ – планируемое время выполнения технологической операции (графа 7, табл. 4), ч; τ_o, τ_1 – соответственно заданное число дней на выполнение технологической операции и принятая продолжительность дневной работы в часах, ч.

Количество агрегатов (графа 9, табл. 4), которые потребны для выполнения технологической операции, рассчитывают по формуле

$$N_A = k_A \cdot S_n,$$

где S_n – заданная площадь поля (в нашем примере S_n =824 га), га. При этом рассчитанные значения количества потребных агрегатов округляют до целых чисел. В этом случае фактический ресурс времени на выполнение технологической операции требует соответствующей корректировки (графа 10, табл. 4).

Таблица 4

Карта технической реализации

Культура: озимая пшеница.
Технология: минимальная с GPS/ГЛОНАСС.
Техника: импортная.
Плановая урожайность: 35 ц/га.
Площадь: 824 га.

Форма ИТК-2

№	Машинная операция	Состав агрегата	Производительность *Wэ*, га/ч	Дни	Рабочий день, ч	Плановое время, ч	Потребность в агрегатах, шт./га	Агрегаты, шт.	Фактическое время, ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Лущение стерни	ДД-7820(1)Catros 6001-2(1)	5,1	7	10	70	0,0028011	2	81
2	Внесение МУ с GPS/ГЛОНАСС системой	ДД-7820(1) ZA-M-3000(1)AgGPS/ГЛОНАСС(1)	9,36	3	10	30	0,0035613	3	29
3	Дискование почвы	ДД-7820(1)Catros 6001-2(1)	5,1	5	14	70	0,0028011	2	81
4	Протравливание семян		0	5	0	0	0	0	0
5	Посев	ДД-7820(1)D-9/120 (KR12002)(1)	7,02	5	14	70	0,002035	2	59
8	Внесение МУ с GPS/ГЛОНАСС системой	ДД-7820(1)ZA-M3000(1) AgGPS/ГЛОНАСС(1)	9,36	3	10	30	0,0035613	3	29
9	Обработка гербицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1)UG-3000(1)AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,36	5	10	50	0,0017606	1	73
10	Обработка фунгицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1)UG-3000(1)AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,36	5	10	50	0,0017606	1	73
11	Обработка инсектицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1)UG-3000(1)AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,36	5	10	50	0,0017606	1	73
12	Прямое комбайнирование с измельчением соломы	Claas Mega 370(1)	3,15	7	14	98	0,0032394	3	87

В модельно-прогностических расчетах подбор техники для выполнения машинных операций, осуществляют по критерию минимума показателей ЧЭЗ и ZW, так как только в данном случае обеспечиваются условия минимизации себестоимости машинных операций, а вместе с ними и технологии в целом. Однако с инженерно-хозяйственной точки зрения такая стратегия не всегда является оптимальной, так как она часто приводит к большой многомарочности машин в структуре машинно-тракторного парка предприятия. Поддержание техники такого парка в исправном состоянии всегда сопряжено с увеличением затрат на ее ремонт. К тому же, многомарочность машин снижает годовую наработку каждой ее единицы. Таким образом, процедура подбора техники в форме ИТК-2 требует от специалистов аграрного производства определенных компромиссов и в силу этого обстоятельства она не может быть полностью формализованной.

Когда необходимо решать задачу оценки технико-экономических показателей технологии, реализуемой в реальных производственных условиях, в форму ИТК-2 включают те агрегаты, которыми располагает на данный момент предприятие.

В форме ИТК-2 представлены лишь основные агрегаты. Вклад вспомогательных учитывают суммарно в статье прочих прямых расходов.

Величину эксплуатационной производительности агрегатов (графа 4) получают в процессе испытаний или рассчитывают по описанным выше алгоритмам.

7.3. Состав технических средств (форма ИТК-3)

Количественный и марочный состав основной сельскохозяйственной техники, которая необходима для реализации технологии возделывания озимой пшеницы по черному пару на площади 824 га, определяют на основании данных формы ИТК-2. Потребное число машин (графа 3, табл. 5) определяется величиной, которая соответствует числу агрегатов, которые потребны для выполнения самой машинноемкой технологической операции. Часто такую операцию именуют «пиковой», а соответствующее ей число потребных машин N^P.

Таблица 5

Состав технических средств

Культура: озимая пшеница.
***Технология*:** минимальная с GPS/ГЛОНАСС.
Техника: импортная.
Плановая урожайность: 35 ц/га.
Площадь: 824 га.

Форма ИТК-3

№	Марка	Количество машин, шт.	Цена машины, руб.	ЧЭЗ, руб./ч	Стоимость работы, руб./га	Сумма, руб.	Загрузка машины, ч	Процент от нормы, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Опрыскиватель UG-3000	1	1492488	2261,3	199,1	1492488	219	102,34
2	Трактор 4×4 ДД-7820	3	3942549	1153,4	–	11827647	278	17,40
3	Сеялка D-9/120 (KR12002)	2	2735640	4134,4	588,9	5471280	59	27,57
4	Разбрасыватель МУ ZA-M-3000	3	236880	566,3	60,5	710640	58	33,92
5	Дисковая борона Catros 6001-2	2	1198983	1109,1	217,5	2397966	162	56,64
6	Зерноуборочный комбайн Claas Mega 370	3	7557376	5360,5	1699,8	22672128	87	29,00
7	Система AgGPS/ГЛОНАСС	3	203267	115,2	–	609801	131	30,54
	Итого					45181950		

Реализация данной технологии требует наличия трех тракторов ДД-7820, обеспечивая при этом каждому трактору годовой объем работ в 278 ч. Нормативная же годовая наработка для этого типа тракторов составляет 1600 ч. Следовательно, технология возделывания озимой пшеницы имеет объем работы, которую мог бы выполнить один трактор. Однако он не может это сделать в заданные агротехнические сроки. Итак, технология обеспечивает тракторам лишь 17,4% их годовой наработки. При этом увеличение площади поля приводит лишь к пропорциональному увеличению количества применяемых тракторов, оставляя при этом практически неизменной величину их годовой наработки.

Подобная ситуация имеет место и по целому ряду других машин. Так, урожай на площади в 824 га мог бы убрать один комбайн. Однако сделать это в установленные агротехнические сроки он физически не может. Такая работа по силам только трем комбайнам. Из этих фактов следует важный для практики вывод, который закрепим в виде содержательной аксиомы.

Аксиома МТ3. *В рамках одной технологии реализовать режим интенсивной эксплуатации сельскохозяйственной техники без нарушения заданных агротехнических сроков не представляется возможным.*

Следствие МТ3.1. *Интенсивный режим эксплуатации сельскохозяйственных машин можно осуществить лишь в хозяйствах, которые обеспечивают для них разнесенный во времени объем работ.*

Цена на технику, материалы и трудовые ресурсы со временем меняются, а вместе с ними должны синхронно корректироваться и численные значения оценок экономических показателей технологии. Эту работу регулярно должна осуществлять служба экономического мониторинга.

7.4. Карта прямых удельных технических затрат (форма ИТК-4)

Эта форма (табл. 6) содержит данные об уровне прямых удельных технических затрат (графа 11) и их укрупненной структуре. Значения данных, приведенных в таблице 6, вычислены по ЧЭЗ-алгоритму.

Таблица 6

Карта прямых удельных технических затрат

Культура: озимая пшеница.
Технология: минимальная с GPS/ГЛОНАСС. ***Техника:*** импортная.
Плановая урожайность: 35 ц/га. ***Площадь:*** 824 га.

Форма ИТК-4

№	Наименование операций	Состав агрегата	*Эксп.* производительность *Wэ*, га /ч	Часовые затраты ЧЭЗ, руб./га	Расход топлива, кг/га	Стоимость ГСМ, руб./га	Зарплата, руб./га	Содержание трактора, руб./га	Содержание машины, руб./га	Всего затрат, руб./га	Вес, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Лущение стерни	ДД-7820(1)Catros 6001-2(1)	5,1	2262	5,5	93,5	23,941	108,71	217,46	443,61	9,054
2	Внесение МУ с GPS/ГЛОНАСС системой	ДД-7820(1)ZA-M-3000(1) AgGPS/ГЛОНАСС(1)	9,36	1835	3,00	50,95	26,09	59,23	59,76	196,03	4,00
3	Дискование почвы	ДД-7820(1)Catros 6001-2(1)	5,1	2262	5,5	93,50	23,94	108,71	217,46	443,61	9,05
4	Протравливание семян		0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Посев	ДД-7820(1) D-9/120 (KR12002)(1)	7,02	5288	4,00	67,93	34,79	78,98	571,55	753,24	15,37
6	Внесение МУ с GPS/ГЛОНАСС системой	ДД-7820(1) ZA-M-3000(1) AgGPS/ГЛОНАСС(1)	9,36	1835	3,00	50,95	26,09	59,23	59,76	196,03	4,00
7	Обработка гербицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1)AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,4	3530	2,47	41,98	21,50	48,80	198,45	310,73	6,34
8	Обработка фунгицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1)AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,4	3530	2,47	41,98	21,50	48,80	198,45	310,73	6,34
9	Обработка инсектицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1)AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,4	3530	2,47	41,98	21,50	48,80	198,45	310,73	6,34
10	Прямое комбайнирование с измельчением соломы	Claas Mega 370(1)	3,15	5360	10,79	183,49	38,76	1479,49	0,00	1701,74	34,73
11	Прочие прямые затраты	5% от суммы затрат оп. 1-10			1,96	33,31	11,90	102,04	86,07	233,32	4,76
				Всего	**41,15**	**699,55**	**250,00**	**2142,8**	**1807,4**	**4899,8**	**100,0**
				Вес, %		14,28	5,10	43,73	36,89	100,00	

Достоинством формы ИТК-4 является структуризация технических затрат (см. графу и строку «вес»), которая дает потребителю возможность выбора эффективных путей оптимизации технологии в целом. В структуре технических затрат наибольший удельный вес приходится на технические операции уборки урожая (34,73 %), посева (15,37 %) и подготовки почвы (18,0 %).

Графа 9 «Тракторы» содержит удельные данные по затратным статьям приобретения ремонта и содержания тракторов, зерноуборочных комбайнов и автомобильного транспорта, исключая расходы на оплату труда и горюче-смазочные материалы.

Графа 10 «Машины» содержит удельные данные по затратным статьям приобретения ремонта и содержания сельскохозяйственных машин, исключая расходы на оплату труда.

7.5. Себестоимость технологии (форма ИТК-5)

Систематизирует все статьи затрат, определяет структуру себестоимости и планируемый уровень рентабельности (табл. 7). В приведенном примере прогнозируемая рентабельность технологии составляет 42,0%. Минимальная урожайность, покрывающая расходы на технологию, составляет 24,66 ц/га. Таким образом, используется не показатель рентабельности технологии, а *коэффициент возврата вложенных средств*, представляющий собой отношение валовой выручки к себестоимости технологии.

Таблица 7

Себестоимость технологии

Культура: озимая пшеница.
Технология: минимальная с GPS/ГЛОНАСС. ***Техника:*** импортная.
Плановая урожайность: 35 ц/га. ***Площадь***: 824 га.

Форма ИТК-5

№	Наименование затратных статей	Кол-во ед. измерения	Цена, руб./ед.	Сумма, руб./га	Вес, %
1	2	3	4	5	6
1	Прямые технические затраты, в том числе:			4899,77	56,76
1.1	зарплата, чел.ч	2,05	122,1	250,00	2,90
1.2	ГСМ, кг/га	41,2	17	699,55	8,10
1.3	содержание тракторов и комбайнов			2142,80	24,82
1.4	содержание сельхозмашин			1807,41	20,94
2	Семена, кг/га	220	3,5	770,00	8,92
3	Минеральные удобрения			1275,00	14,77
3.1	Карбамид, кг/га	170	7,5	1275,00	14,77
4	Химические средства защиты растений			1275,90	14,78
4.1	Винцит, л/га	1,5	330	495,00	5,73

Окончание табл. 7

1	2	3	4	5	6
4.2	Прима, л/га	0,6	374	224,40	2,60
4.3	Альтерр, л/га	0,15	610	91,50	1,06
4.4	Рекс, л/га	0,5	930	465,00	5,39
5	Всего прямых материальных затрат			8220,67	95,24
6	Накладные расходы, % от материальных затрат	5		411,03	4,76
7	Себестоимость технологии, руб./га			**8631,70**	**100,00**
8	Плановая выручка при урожайности 35 ц/га	35	350	**12250**	
9	Коэффициент возврата			**1,42**	

За счет этого удается избавиться от ситуации оперирования отрицательными числами рентабельности, которая возникает при превышении затрат над валовой выручкой. В форме ИТК-5 показатель трудозатрат составляет 2,05 чел.·ч/га. По показателю трудозатрат рассмотренная технология превосходит уровень, который установлен для *высоких технологий* (3,5 чел.·ч/т).

Задание 1. Изучить карту производственных операций по форме ИТК-1.

Задание 2. Изучить карту технической реализации по форме ИТК-2.

Задание 3. Изучить состав технических средств по форме ИТК-3.

Задание 4. Изучить карту прямых удельных технических затрат по форме ИТК-4.

Задание 5. Изучить себестоимость технологии по форме ИТК-5.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятию «коэффициент возврата вложенных средств».
2. Дайте определение понятию ЧЭЗ.
3. Дайте определение понятию «минимальная урожайность».
4. Что понимают под многомарочностью машин?

Практическое занятие 8
АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ СУММАРНЫХ ЗАТРАТ НА РЕАЛИЗАЦИЮ ТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Цель: развить представление об алгоритме формирования суммарных затрат на реализацию технологий возделывания зерновых культур.

Для конкретности рассмотрим четырехпольный зернопаровой севооборот: 1) пар; 2) озимые ($K_1L_1M_1$); 3) яровые 1 (K_2L_2); 4) яровые 2 (K_3L_3). Перечень работ, выполняемых на каждом

поле в течение одного периода полной ротации, представлен в таблице 8.

Таблица 8

Перечень технологических работ

Поля	Годы			
	1	2	3	4
1 поле	L_1	M_1, K_2	L_2, K_3	L_3, K_1
2 поле	L_3, K_1	L_1	M_1, K_2	L_2, K_3
3 поле	L_2, K_3	L_3, K_1	L_1	M_1, K_2
4 поле	M_1, K_2	L_2, K_3	L_3, K_1	L_1

Технология возделывания озимых зерновых культур по черному пару на одном поле реально охватывает календарный период в три года. Яровые культуры – два года. В пределах отдельно взятого года хозяйство, придерживаясь того или иного севооборота, выполняет все виды технологические работ, которые входят в принятый севооборот. Так, все технологические операции производства озимой культуры по черному пару в первый год выполняются предприятием на следующих полях: 2 поле – технологические операции года K_1; 1 поле – технологическая операция года L_1; поле 4 – технологическая операция года M_1. Первая яровая культура: 4 поле – K_2; 3 поле – L_2. Вторая яровая культура: 3 поле – K_3; 2 поле – L_3. С учетом этого обстоятельства себестоимость той или иной технологии производства сельскохозяйственных культур можно определить по элементам затрат текущего года. При таком алгоритме отпадает необходимость констатировать факт затрат на незавершенное производство.

Задание. Изучить алгоритм суммарных затрат при возделывании зерновых культур.

Контрольные вопросы

1. Что включает перечень технологических работ?
2. Дайте определение понятию севооборот
3. Дайте определение понятию зернопаровой севооборот
4. Раскройте понятию: одного периода полной ротации.
5. Дайте определение понятию яровая культура.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1
Таблица П. 1.1

План график рабочей недели руководителя хозяйства

№	Вид работы	Дни недели и часы					Анализ и оценка выполнения
		Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница	
1	Решение оперативных производственных вопросов, работа с корреспонденцией	7.30-8.30	7.30-8.30	7.30-8.30		7.30-8.30	
2	Беседа с главными специалистами		8.30-9.30		8.30-9.30	8.30-9.30	
3	Посещение производственных подразделений					9.30-12.00	
4	Перерыв на обед	13.00-14.00	13.00-14.00	13.00-14.00	13.00-14.00	13.00-14.00	
5	Решение организационно-технических вопросов с главными специалистами		14.00-15.00		9.30- 12.00	12.00-13.00	
6	Прием посетителей	14.00- 15.30					
7	Планирование, организация труда и зарплаты			8.30.-12.00			
8	Контроль за внедрением НТП			12.00-13.00			
9	Хозяйственно-финансовая деятельность					12.00- 13.00	
10	Материально-техническое снабжение и сбыт				14.00- 15.30	14.00-15.00	
11	Работа с кадрами					15.00-16.00	
12	Посещение районных организаций			16.00- 18.00		16.00- 17.00	

Приложение 2

Примеры оценки технико-экономических показателей машинных технологий производства зерна

1. Регламентировано-базовые машинные технологи производства сельскохозяйственных культур

При выполнении модельных расчетов применяют новую методику экономической оценки, использующую показатель часовых эксплуатационных затрат (ЧЭЗ-методика). Методика полностью гармонизирована с общепризнанным мировым стандартом ASSAE. Поэтому она в равной степени применима как к отечественным, так и к зарубежным машинам и агрегатам. В представленных технологиях использованы наборы сельскохозяйственных машин, которые поставляет на внутренний рынок фирма ЗАО «Евротехника» (г. Самара). В настоящее время при экономической оценке эффективности сельскохозяйственных технологий существует две неопределенности: 1) ни одна машинная технология не может дать гарантию на получение точно запланированной величины урожая; 2) рыночная цена реализации произведенной продукции является случайной величиной. Такая неопределенность обуславливает большой диапазон колебаний реально получаемой выручки от реализации произведенной продукции. Все это необходимо учитывать при принятии тех или иных управляющих решений. К тому же экономические показатели в сильной степени зависят от рыночных цен на материалы, технику и трудовые ресурсы. Поэтому они имеют ограниченный срок практического использования. Расчеты выполнены при значениях факторов, приведенных в таблице П. 2.1.

Таблица П. 2.1

Сводные факторы и значения для расчета

Внешние факторы	Значения
1. Часовая заработная плата, руб./ч	122,1
2. Цена дизельного топлива, руб./кг	17,00
3. Кредитная политика: % банка	10
Срок кредита, год	5

Себестоимость выполнения тех или иных технологических операций полностью определяется эксплуатационно-техническими и экономическими свойствами сельскохозяйственных агрегатов.

Себестоимость их работы *СР* прямо пропорциональна часовым эксплуатационным затратам агрегата (ЧЭЗ агрегата) и обратно пропорциональна эксплуатационной производительности агрегата *Wэ*:

$$СР = ЧЭЗ\ агрегата/Wэ,$$

где ЧЭЗ агрегата равны сумме ЧЭЗ отдельных машин.

Из приведенной формулы видно, что минимизировать себестоимость работы можно за счет комплектации агрегатов машинами, которые отвечают агротехническим требованиям и при этом имеют малые часовые эксплуатационные затраты и высокую производительность. Любая технологическая операция в рамках той или иной технологии может быть реализована большим набором сельскохозяйственных машин.

Перед представлением результатов модельных расчетов укажем на ряд специфических условий, которые важно иметь ввиду при анализе технико-экономической эффективности использования сельскохозяйственных машин в современных технологиях производства продукции растениеводства. Речь идет о термине *«комплекс машин»,* а вместе с ним и о показателе его окупаемости. В инженерной практике этот термин чаще всего характеризует набор технологически связанных между собой сельскохозяйственных машин, которые предназначены для реализации сугубо специфических технологий. Как правило, машины, составляющие основу комплекса, не ориентированы на их использование в других технологиях. Исключение лишь тракторы, которые являются машинами универсального применения. Яркий пример *комплекса машин* – картофельный комплекс. Практически основная номенклатура входящих в него машин в технологиях возделывания других культур кроме картофеля не используется.

Во всех приведенных ниже технологиях, кроме технологии возделывания картофеля, используются машины общего применения, для которых в большей степени подходят термины *«набор техники»* или *«состав технических средств»*. Это принципиальное терминологическое различие, которое влечет за собой различия механизмов хозяйственной окупаемости машин.

Комплекс машин, как правило, окупается результатами реализации одной технологии. *Набор техники* окупается результатами реализации многих технологий. Данные производственной эксплуатации сельскохозяйственной техники указывают на то, что ни

одна технология производства продукции растениеводства не может всем потребным для ее реализации машинам обеспечить нормальную годовую наработку. В этой закономерности срок окупаемости инвестиций в набор (комплекс) техники может быть решен лишь в части доли амортизационных отчислений. При этом заметим, что расчет величины прибыли, используемой в алгоритме расчета окупаемости техники, всегда базируется на плановый выручке. А она, как известно, может в значительной степени отличаться от её фактического уровня. Технико-экономическая оценка машинных технологий производства сельскохозяйственной продукции выполнена к хозяйственным условиям ЗАО «Самара-Солана» (рис. П. 2.1).

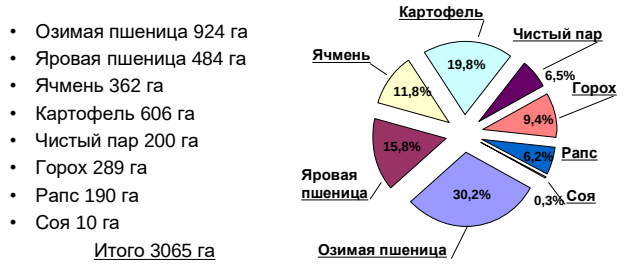


Рис. П. 2.1. Структура производства продукции растениеводства ЗАО «Самара-Солана»

1.1. Минимальная технология производства озимой пшеницы с использованием GPS/ГЛОНАСС системы (ТР 063.007.81)

Код технологии. Используется следующая система кодирования технологий растениеводства: ТР 063.007.81, где ТР – технология растениеводства; 063 – номер региона (по классификации ГАИ); 007 – шифр озимой пшеницы по таблице; 81 – регистрационный номер технологии в электронной базе данных МСХП СО (81-99 область номеров для ресурсосберегающих технологий). Технология ТР 063.007.81 рассчитана на плановую урожайность 35 ц/га и реализуется она на площади 824 га. Технология расходует 41,15 кг топлива на гектар и ее себестоимость составляет 8631,7 руб./га, в том числе прямые технические затраты равны 4899,8 руб./га (см. форму ИТК-5 данной технологии, приведенную в практическом занятии 7).

Таблица П. 2.2

Карта производственных операций

Культура: озимая пшеница.

Технология: нулеваяс с применением GPS/ГЛОНАСС системы. ***Код технологии***: ТР 063.007.82.

Плановая урожайность: 35 ц/га. ***Площадь***: 100 га.

Форма ИТК-1

№	Наименование операций	Год	Дни	Рабочий день, ч	Исходные требования	Тип техники
1	2	3	4	5	6	7
1	Обработка гербицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	K	5	10	Опрыскивание Глисолом нормой 3 л/га по отросшим сорнякам. Расход воды 100 л/га	Опрыскиватель
2	Внесение минеральных удобрений	L	3	10	Под предпосевную культивацию карбамид 50 кг/га	Разбрасыватель удобрений
3	Протравливание семян	L	5		С увлажнением из расчета 0,5 л/т семян Винцит 1,5 и 10 л/т семян воды	Протравливатель семян
4	Посев	L	5	14	Посев на глубину 4 см, норма высева 200 кг/га	Сеялка зерновая
5	Внесение минеральных удобрений с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	M	3	10	Подкормка, карбамид 120 кг/га	Разбрасыватель удобрений
6	Обработка гербицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	M	5	10	Опрыскивание гербицидом Прима нормой 0,6 л/га против двудольных сорняков в фазе кущения культуры и 2-4 листа у сорняков. Расход воды 200-300 л/га	Опрыскиватель
7	Обработка фунгицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	M	5	10	Опрыскивание в фазу флагового листа Рекс Дуо нормой 0,5 л/га. Расход воды 200-300 л/га	Опрыскиватель
8	Обработка инсектицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	M	5	10	Опрыскивание в фазу молочной спелости от клопа-черепашки Альтерр нормой 0,15л/га	Опрыскиватель
9	Прямое комбайнирование с измельчением соломы	M	7	14	–	Комбайн зерноуборочный
10	Отвоз зерна от комбайнов	M	7		Расстояние перевозки до 10 км	Автотранспорт
11	Первичная очистка зерна	M	7		Сразу после уборки	

Таблица П. 2.3

Карта технической реализации

Культура: озимая пшеница.

Технология: нулевая с применением GPS/ГЛОНАСС системы. ***Код технологии***: ТР 063.007.82.

Плановая урожайность: 35 ц/га. ***Площадь***: 100 га.

Форма ИТК-2

№	Машинная операция	Состав агрегата	Производительность *W*э, га/ч	Дни	Рабочий день, ч	Плановое время, ч	Потребность в агрегатах, шт./га	Агрегаты, шт.	Фактическое время, ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Обработка гербицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1)UG 3000(1)AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,36	5	10	50	0,0017606	1	9
2	Внесение минеральных удобрени	ДД-7820(1)ZA-M-3000(1)	9,36	3	10	30	0,0035613	1	11
3	Протравливание семян		0	5	0	0	0	0	0
4	Посев	ДД-7820(1)DMC 602 (с МУ)(1)	3,78	5	14	70	0,0037793	1	26
5	Внесение минеральных удобрени с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1)ZA-M-3000(1)	9,36	3	10	30	0,0035613	1	11
6	Обработка гербицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1)UG-3000(1)AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,36	5	10	50	0,0017606	1	9
7	Обработка фунгицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1)UG-3000(1)AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,36	5	10	50	0,0017606	1	9
8	Обработка инсектицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1)UG-3000(1)AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,36	5	10	50	0,0017606	1	9
9	Прямое комбайнирование с измельчением соломы	Claas Mega 370(1)	3,15	7	14	98	0,0032394	1	32

Таблица П. 2.4

Состав технических средств

Культура: озимая пшеница.
Технология: нулевая с применением GPS/ГЛОНАСС системы. ***Код технологии***: ТР 063.007.82
Плановая урожайность: 35 ц/га. ***Площадь***: 100 га.

Форма ИТК-3

№	Марка	Количество машин, шт.	Цена машины, руб.	ЧЭЗ, руб./ч	Стоимость работы, руб./га	Сумма, руб.	Загрузка машины, ч	Процент от нормы, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Опрыскиватель UG-3000	1	1492488	2261,33	199,08	1492488	36	16,82
2	Трактор ДД-7820	1	3942549	1153,37		3942549	84	5,25
3	Сеялка DMC 602 (с МУ)	1	2991600	4509,78	1193,06	2991600	26	12,15
4	Разбрасыватель ZA-M-3000	1	236880	566,25	60,50	236880	22	12,87
5	Комбайн Claas Mega 370	1	7557376	5360,48	1699,80	7557376	32	10,67
6	Навигационная система AgGPS/ГЛОНАСС	1	203267	115,18		203267	36	8,40

Таблица П. 2.5

Карта прямых удельных технических затрат

Культура: озимая пшеница.
Технология: нулевая с применением GPS/ГЛОНАСС системы. ***Код технологии***: ТР 063.007.82.
Плановая урожайность: 35 ц/га. ***Площадь***: 100 га.

Форма ИТК-4

№	Наименование операций	Состав агрегата	Эксплуатационная производительность *Wэ*, га /ч	Часовые затраты ЧЭЗ, руб./га	Расход топлива, кг/га	Стоимость ГСМ, руб./га	Зарплата, руб./га	Содержание трактора, руб./га	Содержание машины, руб./га	Всего затрат, руб./га	Вес, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Обработка гербицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1) AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,4	3530	2,47	41,98	21,50	48,80	198,45	310,73	6,15

Окончание табл. П. 2.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	Внесение минеральных удобрений	ДД-7820(1)ZA-M-3000(1)	9,36	1720	3,00	50,95	26,09	59,23	47,45	183,72	3,64
3	Протравливание семян		0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	Посев	ДД-7820(1) DMC 602 (с МУ)(1)	3,78	5663	7,42	126,15	64,60	146,67	1160,76	1498,19	29,66
5	Внесение минеральных удобрений с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1)ZA-M-3000(1)	9,36	1720	3,00	50,95	26,09	59,23	47,45	183,72	3,64
6	Обработка гербицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1)AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,4	3530	2,47	41,98	21,50	48,80	198,45	310,73	6,15
7	Обработка фунгицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1) AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,4	3530	2,47	41,98	21,50	48,80	198,45	310,73	6,15
8	Обработка инсектицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1) AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,4	3530	2,47	41,98	21,50	48,80	198,45	310,73	6,15
9	Прямое комбайнирование с измельчением соломы	Claas Mega 370(1)	3,15	5360	10,79	183,49	38,76	1479,49	0,00	1701,74	33,69
10	Прочие прямые затраты, 5%				1,70	28,97	12,08	96,99	102,47	240,51	4,76
				Всего	**35,79**	**608,41**	**253,61**	**2036,84**	**2151,95**	**5050,80**	100,00
				Вес, %		12,05	5,02	40,33	42,61	100,00	

1.2. Нулевая технология производства озимой пшеницы с использованием GPS/ГЛОНАСС системы (ТР 063.007.82)

Технология ТР 063.007.82 рассчитана на плановую урожайность 35 ц/га и реализуется она на площади 100 га.

Таблица П. 2.6

Себестоимость технологии

Культура: озимая пшеница.
Технология: нулевая с применением GPS/ГЛОНАСС системы.
Код технологии: ТР 063.007.82.
Плановая урожайность: 35 ц/га. ***Площадь***: 100 га.

Форма ИТК-5

№	Наименование затратных статей	Кол-во ед. измерения	Цена, руб./ед.	Сумма, руб./га	Вес, %
1	2	3	4	5	6
1	Прямые технические затраты	–	–	5050,8	54,0
1.1	в том числе: зарплата, чел.ч	2,08	122,1	253,6	2,7
1.2	ГСМ, кг/га	35,79	17	608,4	6,5
1.3	содержание тракторов и комбайнов	–	–	2036,8	21,8
1.4	содержание сельхозмашин	–	–	2151,9	23,0
2	Семена, кг/га	220	3,5	770,0	8,2
3	Минеральные удобрения	–	–	1275,00	13,63
3.1	Карбамид, кг/га	170	7,5	1275,00	13,63
4	Химические средства защиты растений	–	–	1815,90	19,41
4.1	Винцит, л/га	1,5	330	495,00	5,29
4.2	Прима, л/га	0,6	374	224,40	2,40
4.3	Альтерр, л/га	0,15	610	91,50	0,98
4.4	Рекс, л/га	0,5	930	465,00	4,97
4.5	Глисол, л/га	3	180	540,00	5,77
5	Всего прямых материальных затрат	–	–	8911,70	95,24
6	Накладные расходы, % от материальных затрат	5	–	445,59	4,76
7	Себестоимость технологии, руб./га	–	–	**9357,29**	**100,00**
	Плановая выручка при урожае 35 ц/га	35	350	**12250**	**–**
	Коэффициент возврата	–	–	**1,30**	**–**

Резюме 1.2. Себестоимость нулевой технологии производства озимой пшеницы выше минимальной (9357,3>8632,7 руб./га). Это увеличение обусловлено большими затратами на приобретение химических средств защиты растений (1815,9 против 1275,9 руб./га для минимальной технологии), а также на выполнение операции прямого посева сеялкой ДМС 601, которая обходится хозяйству дороже посева сеялкой Д9/120, используемой при минимальной технологии (1498,2 против 753,2 руб./га).

При этом расход топлива при нулевой технологии уменьшился и составил 35,8 кг/га против 41,15 кг/га для минимальной технологии.

В целом, положительный эффект, получаемый от исключения операции обработки почвы и экономии топлива, с лихвой перекрывается повышением расходов на химические средства защиты растений и затратами на выполнение операции прямого посева.

Таким образом, в рамках нулевой технологии производства озимой пшеницы экономия одних ресурсов ведет к еще большему перерасходу других.

В силу этого обстоятельства не факт, что нулевая технология относится к ресурсосберегающей категории, так это часто идентифицируется в рекламных проспектах.

1.3. Минимальная технология производства яровой пшеницы с использованием GPS/ГЛОНАСС системы (ТР 063.006.81)

Технология ТР 063.006.81 рассчитана на плановую урожайность 21 ц/га. Площадь посева 384 га.

Интегрированная технологическая карта технологии приведена ниже.

Таблица П.2.7

Карта производственных операций

Культура: яровая пшеница.

Технология: минимальная с применением GPS/ГЛОНАСС системы. ***Код технологии***: ТР 063.006.81.

Плановая урожайность: 21 ц/га. ***Площадь:*** 384 га.

Форма ИТК-1

№	Наименование операций	Год	Дни	Рабочий день, час	Исходные требования	Тип техники
1	2	3	4	5	6	7
1	Минимальная обработка	K	5	14	На глубину 10-12 см	Комбинированное орудие
2	Внесение минеральных удобрений с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	L	3	7	Подкормка, карбамид 100 кг/га	Разбрасыватель удобрений
3	Посев	L	3	14	Посев на глубину 4 см, норма высева 180 кг/га	Сеялка зерновая
4	Обработка гербицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	L	3	7	Опрыскивание Пульсар нормой 1 л/га против однодольных и двудольных однолетних сорняков. Расход воды 200-300 л/га	Опрыскиватель
5	Обработка инсектицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	L	3	7	Опрыскивание в фазу бутонизации от гороховой зерновки. Плодожорки и тли Альтерр нормой 0,15 л/га	Опрыскиватель
6	Прямое комбайнирование с измельчением соломы	L	7	14	–	Комбайн зерноуборочный
	Отвоз зерна от комбайнов	L	7	–	Расстояние перевозки до 10 км	Автотранспорт

Таблица П.2.8

Карта технической реализации

Культура: яровая пшеница.

Технология: минимальная с применением GPS/ГЛОНАСС системы. ***Код технологии***: ТР 063.006.81.

Плановая урожайность: 21ц/га. ***Площадь***: 384 га.

Форма ИТК-2

№	Машинная операция	Состав агрегата	Производительность *Wэ*, га/ч	Дни	Рабочий день, ч	Плановое время, ч	Потребность в агрегатах, шт./га	Агрегаты, шт.	Фактическое время, ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Минимальная обработка	ДД-7820(1)Smaragd 9/600(1)	4,5	15	14	210	0,0010582	1	85
2	Внесение минеральных удобрений с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) ZA-M-3000(1)AgGPS/ГЛОНАСС(1)	9,36	3	10	30	0,0035613	1	41
3	Предпосевная обработка почвы	ДД-7820(1)Catros 6001-2(1)	5,1	3	14	42	0,0046685	2	38
4	Протравливание семян		0	3	0	0	0	0	0
5	Посев	ДД-7820(1) D-9/120 (KR12002)(1)	7,02	3	14	42	0,0033917	1	55
6	Обработка гербицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1)AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,36	5	7	35	0,0025151	1	34
7	Обработка фунгицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1)AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,36	5	7	35	0,0025151	1	34
8	Обработка инсектицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1)AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,36	5	7	35	0,0025151	1	34
9	Прямое комбайнирование с измельчением соломы	Claas Mega 370(1)	3,15	7	14	98	0,0032394	1	122

Таблица П. 2.9

Состав технических средств

Культура: яровая пшеница.
Технология: минимальная с применением GPS/ГЛОНАСС системы. ***Код технологии***: ТР 063.006.81.
Плановая урожайность: 21ц/га. ***Площадь***: 384 га.

Форма ИТК-3

№	Марка	Кол-во машин, шт.	Цена машины, руб.	ЧЭЗ, руб./ч	Стоимость работы, руб./га	Сумма, руб.	Загрузка машины, ч	Процент от нормы, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Культиватор Smaragd 9/600	1	963360	1036	230,14	963360	85	29,72
2	Опрыскиватель UG-3000	1	1492488	2261	199,08	1492488	102	47,66
3	Трактор ДД-7820	2	3942549	1153		7885098	179,5	11,22
4	Сеялка D-9/120 (KR12002)	1	2735640	4134	588,94	2735640	55	25,70
5	Разбрасыватель ZA-M-3000	1	236880	566	60,50	236880	41	23,98
6	Дисковая борона Catros 6001-2	2	1198983	1109	217,46	2397966	38	13,29
7	Комбайн Claas Mega 370	1	7557376	5360	1699,80	7557376	122	40,67
8	Навигационная система AgGPS/ГЛОНАСС	1	203267	115	–	203267	143	33,33

Таблица П. 2.10

Карта прямых удельных технических затрат

Культура: яровая пшеница.
Технология: минимальная с GPS/ГЛОНАСС. ***Код технологии:*** ТР 063.006.81.
Плановая урожайность: 21ц/га. ***Площадь***: 384 га.

Форма ИТК-4

№	Наименование операций	Состав агрегата	*Эксп.* производительность *Wэ*, га /ч	Часовые затраты ЧЭЗ, руб./га	Расход топлива, кг/га	Стоимость ГСМ, руб./га	Зарплата, руб./га	Содержание трактора, руб./га	Содержание машины, руб./га	Всего затрат, руб./га	Вес, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Минимальная обработка	ДД-7820(1)Smaragd 9/600(1)	4,5	2189	6,23	105,97	27,13	123,20	230,14	486,44	10,26
2	Внесение минеральных удобрений с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1)ZA-M-3000(1) AgGPS/ГЛОНАСС(1)	9,36	1835	3,00	50,95	26,09	59,23	59,76	196,03	4,14

Окончание табл. П. 2.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	Предпосевная обработка почвы	ДД-7820(1)Catros 6001-2(1)	5,1	2262	5,50	93,50	23,94	108,71	217,46	443,61	9,36
4	Протравливание семян		0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	Посев	ДД-7820(1) D-9/120 (KR12002)(1)	7,02	5288	4,00	67,93	34,79	78,98	571,55	753,24	15,89
6	Обработка гербицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1) AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,4	3530	2,47	41,98	21,50	48,80	198,45	310,73	6,56
7	Обработка фунгицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1) AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,4	3530	2,47	41,98	21,50	48,80	198,45	310,73	6,56
8	Обработка инсектицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1) AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,4	3530	2,47	41,98	21,50	48,80	198,45	310,73	6,56
9	Прямое комбайнирование с измельчением соломы	Claas Mega 370(1)	3,15	5360	10,79	183,49	38,76	1479,49	0,00	1701,74	35,91
10	Прочие прямые затраты, 5%				1,85	31,39	10,76	99,80	83,71	225,66	4,76
				Всего	**38,77**	**659,15**	**225,96**	**2095,83**	**1757,98**	**4738,91**	100
				Вес, %		13,91	4,77	44,23	37,1	100	

Таблица П. 2.11

Себестоимость технологии

Культура: яровая пшеница.
Технология: минимальная с применением GPS/ГЛОНАСС системы.
Код технологии: ТР 063.006.81.
Плановая урожайность: 21 ц/га. ***Площадь***: 384 га.

Форма ИТК-5

№	Наименование затратных статей	Кол-во ед. измерения	Цена, руб./ед.	Сумма, руб./га	Вес, %
1	2	3	4	5	6
1	Прямые технические затраты	–	–	4738,91	61,03
1.1	в том числе: зарплата, чел.ч	1,85	122,1	225,96	2,91
1.2	ГСМ, кг/га	38,77	17	659,15	8,49
1.3	содержание тракторов и комбайнов	–	–	2095,83	26,99
1.4	содержание сельхозмашин	–	–	1757,98	22,64
2	Семена, кг/га	180	3,5	630,00	8,11
3	Минеральные удобрения	–	–	750,00	9,66
3.1	Карбамид, кг/га	100	7,5	750,00	9,66
4	Хим. средства защиты растений	–	–	1275,90	16,43
4.1	Альтерр, л/га	0,15	610	91,50	1,18
4.2	Прима, л/га	0,6	374	224,40	2,89
4.3	Винцит, л/га	1,5	330	495,00	6,38
4.4	Рекс Дуо, л/га	0,5	930	465,00	5,99
5	Всего прямых материальных затрат	–	–	7394,81	95,24
6	Накладные расходы, % от материальных затрат	5	–	369,74	4,76
7	Себестоимость технологии, руб./га	–	–	**7764,55**	**100,00**
	Плановая выручка при урожайности 21 ц/га	21	350	**7350**	–
	Коэффициент возврата	–	–	**0,95**	–

Резюме 1.3. Производство яровой пшеницы при данной плановой урожайности и принятой реализационной цене убыточно. Коэффициент вложенных в технологию средств равен 0,95, то есть убыток равен 5%.

1.4. Нулевая технология производства яровой пшеницы с использованием GPS/ГЛОНАСС системы (ТР 063.006.82)

Технология ТР 063.006.82 рассчитана на плановую урожайность 21 ц/га. Площадь посева 100 га. Интегрированная технологическая карта технологии приведена ниже.

Таблица П. 2.12

Карта производственных операций

Культура: яровая пшеница.
Технология: нулевая с применением GPS/ГЛОНАСС системы. ***Код технологии***: ТР 063.006.82.
Плановая урожайность: 21 ц/га. ***Площадь***: 100 га.

Форма ИТК-1

№	Наименование операций	Год	Дни	Рабочий день, ч	Исходные требования	Тип техники
1	2	3	4	5	6	7
1	Протравливание семян	L	3		С увлажнением из расчета 0,5 л/т семян Винцит 1,5 и 10 л/т семян воды	Протравливатель семян
2	Внесение минеральных удобрений с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	L	2	10	Подкормка, карбамид 100 кг/га	Разбрасыватель удобрений
3	Посев	L	3	10	Посев на глубину 4 см, норма высева 180 кг/га	Сеялка зерновая
4	Обработка гербицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	L	2	7	Опрыскивание гербицидом Прима нормой 0,6 л/га против двудольных сорняков в фазе кущения культуры и 2-4 листа у сорняков. Расход воды 200-300 л/га	Опрыскиватель
5	Обработка фунгицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	L	2	7	Опрыскивание в фазу флагового листа Рекс Дуо нормой 0,5 л/га. Расход воды 200-300 л/га	Опрыскиватель
6	Обработка инсектицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	L	2	7	Опрыскивание в фазу молочной спелости от клопа-черепашки Альтерр нормой 0,15 л/га	Опрыскиватель
7	Прямое комбайнирование с измельчением соломы	L	2	14	–	Комбайн зерноуборочный
8	Отвоз зерна от комбайнов	L	2	–	Расстояние перевозки до 10 км	Автотранспорт
9	Первичная очистка зерна	L	2	–	Сразу после уборки	

Таблица П. 2.13

Карта технической реализации

Культура: яровая пшеница.
Технология: нулевая с применением GPS/ГЛОНАСС системы. ***Код технологии***: ТР 063.006.82.
Плановая урожайность: 21ц/га. ***Площадь***: 100 га.

Форма ИТК-2

№	Машинная операция	Состав агрегата	Производительность *Wэ*, га/ч	Дни	Рабочий день, ч	Плановое время, ч	Потребность в агрегатах, шт./га	Агрегаты, шт.	Фактическое время, ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Внесение минеральных удобрений с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) ZA-M-3000(1) AgGPS/ГЛОНАСС(1)	9,36	2	10	20	0,0053419	1	11
2	Посев	ДД-7820(1)DMC 601(1)	3,78	3	10	30	0,0088183	1	26
3	Обработка гербицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1) AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,36	2	7	14	0,0062877	1	9
4	Обработка фунгицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1) AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,36	2	7	14	0,0062877	1	9
5	Обработка инсектицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1) AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,36	2	7	14	0,0062877	1	9
6	Прямое комбайнирование с измельчением соломы	Claas Mega 370(1)	3,15	2	14	28	0,0113379	1	32

Таблица П. 2.14

Состав технических средств

Культура: яровая пшеница.
Технология: нулевая с применением GPS/ГЛОНАСС системы. ***Код технологии***: ТР 063.006.82.
Плановая урожайность: 21ц/га. ***Площадь***: 100 га.

Форма ИТК-3

№	Марка	Кол-во машин, шт.	Цена машины, руб.	ЧЭЗ, руб./ч	Стоимость работы, руб./га	Сумма, руб.	Загрузка машины, ч	Процент от нормы, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Сеялка DMC 601	1	2669000	4037	1067,89	2669000	26	12,15
2	Опрыскиватель UG-3000	1	1492488	2261	199,08	1492488	27	12,62
3	Трактор ДД-7820	1	3942549	1153		3942549	64	4,00
4	Разбрасыватель ZA-M-3000	1	236880	566	60,50	236880	11	6,43
5	Комбайн Claas Mega 370	1	7557376	5360	1699,80	7557376	32	10,67

Таблица П. 2.15

Карта прямых удельных технических затрат

Культура: яровая пшеница.
Технология: нулевая с применением GPS/ГЛОНАСС системы. ***Код технологии***: ТР 063.006.82.
Плановая урожайность: 21 ц/га. ***Площадь***: 384 га.

Форма ИТК-4

№	Наименование операций	Состав агрегата	*Эксп.* производительность *Wэ*, га /ч	Часовые затраты ЧЭЗ, руб./га	Расход топлива, кг/га	Стоимость ГСМ, руб./га	Зарплата, руб./га	Содержание трактора, руб./га	Содержание машины, руб./га	Всего затрат, руб./га	Вес, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Внесение минеральных удобрений с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) ZA-M-3000(1) AgGPS/ГЛОНАСС(1)	9,36	1835	3,00	50,95	26,09	59,23	59,76	196,03	4,44
2	Посев	ДД-7820(1)DMC 601(1)	3,78	5190	7,42	126,15	64,60	146,67	1035,59	1373,02	31,11

Окончание табл. П. 2.15

3	Обработка гербицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1) AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,4	3530	2,47	41,98	21,50	48,80	198,45	310,73	7,04
4	Обработка фунгицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1) AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,4	3530	2,47	41,98	21,50	48,80	198,45	310,73	7,04
5	Обработка инсектицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1) AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,4	3530	2,47	41,98	21,50	48,80	198,45	310,73	7,04
6	Прямое комбайнирование с измельчением соломы	Claas Mega 370(1)	3,15	5360	10,79	183,49	38,76	1479,49	0,00	1701,74	38,56
7	Прочие прямые затраты, 5%	–	–	–	1,43	24,33	9,70	91,59	84,54	210,15	4,76
				Всего	**30,05**	**510,84**	**203,64**	**1923,40**	**1775,24**	**4413,12**	100,00
				Вес, %	–	11,58	4,61	43,58	40,23	100	–

Таблица П. 2.16

Себестоимость технологи

Культура: яровая пшеница.
Технология: нулевая с применением GPS/ГЛОНАСС системы.
Код технологии: ТР 063.006.82.
Плановая урожайность: 21 ц/га. ***Площадь***: 100 га.

Форма ИТК-5

№	Наименование затратных статей	Кол-во ед. измерения	Цена, руб./ед.	Сумма, руб./га	Вес, %
1	2	3	4	5	6
1	Прямые технические затраты			4413,12	59,46
1.1	в том числе: зарплата, чел.ч	1,67	122,1	203,64	2,74
1.2	ГСМ, кг/га	30,05	17	510,84	6,88
1.3	содержание тракторов и комбайнов			1923,40	25,91
1.4	содержание сельхозмашин			1775,24	23,92
2	Семена, кг/га	180	3,5	630,00	8,49
3	Минеральные удобрения			750,00	10,10
3.1	Карбамид, кг/га	100	7,5	750,00	10,10
4	Химические средства защиты растений			1275,90	17,19
4.1	Альтерр, л/га	0,15	610	91,50	1,23
4.2	Прима, л/га	0,6	374	224,40	3,02
4.3	Винцит, л/га	1,5	330	495,00	6,67
4.4	Рекс Дуо, л/га	0,5	930	465,00	6,26
5	Всего прямых материальных затрат			7069,02	95,24
6	Накладные расходы, % от материальных затрат	5		353,45	4,76
7	Себестоимость технологии, руб./га			**7422,47**	**100,00**
	Плановая выручка при урожайности 21 ц/га	21	350	**7350**	
	Коэффициент возврата			**0,99**	

Резюме 1.4. Переход на нулевую технологию возделывания яровой пшеницы приводит по сравнению с минимальной к снижению затрат на 4%. Однако этой величины недостаточно, чтобы сделать производство прибыльным.

1.5. Минимальная технология производства ячменя с использованием GPS/ГЛОНАСС системы (ТР 063.010.81)

Технология ТР 063.010.81 рассчитана на плановую урожайность 26 ц/га. Площадь посева 362 га. Себестоимость технологии 8214,0 руб./га. Коэффициент возврата вложенных средств 0,95. Интегрированная технологическая карта технологии со всеми материалами расчетов приведена ниже.

Таблица П. 2.17

Карта производственных операций

Культура: ячмень.

Технология: минимальная с использованием GPS/ГЛОНАСС системы. ***Код технологии***: ТР 063.010.81.

Плановая урожайность: 26 ц/га. ***Площадь***: 362 га.

Форма ИТК-1

№	Наименование операций	Год	Дни	Рабочий день, ч	Исходные требования	Тип техники
1	2	3	4	5	6	7
1	Минимальная обработка	K	15	14	На глубину 10-12 см	Культиватор дисковый
2	Предпосевная обработка почвы	L	3	14	На глубину 10-12 см	Культиватор дисковый
3	Протравливание семян	L	3		С увлажнением из расчета 0,5 л/т семян Винцит 1,5 и 10 л/т семян воды	Протравливатель семян
4	Посев	L	3	14	Посев на глубину 4 см, норма высева 180 кг/га	Сеялка зерновая
5	Внесение минеральных удобрений с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	L	3	7	Подкормка, карбамид 100 кг/га	Разбрасыватель удобрений
6	Обработка гербицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	L	5	7	Опрыскивание гербицидом Прима нормой 0,6 л/га против двудольных сорняков в фазе кущения культуры и 2-4 листа у сорняков. Расход воды 200-300 л/га	Опрыскиватель
7	Обработка фунгицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	L	5	7	Опрыскивание в фазу флагового листа Рекс Дуо нормой 0,5 л/га. Расход воды 200-300 л/га	Опрыскиватель
8	Обработка инсектицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	L	5	7	Опрыскивание в фазу молочной спелости от клопа-черепашки Альтерр нормой 0,15л/га	Опрыскиватель
9	Прямое комбайнирование с измельчением соломы	L	7	14	–	Комбайн зерноуборочный
10	Отвоз зерна от комбайнов	L	7	–	Расстояние перевозки до 10 км	Автотранспорт
11	Первичная очистка зерна	L	7	–	Сразу после уборки	–

Таблица П. 2.18

Карта технической реализации

Культура: ячмень.

Технология: минимальная с использованием GPS/ГЛОНАСС системы. ***Код технологии***: ТР 063.010.81.

Плановая урожайность: 26 ц/га. ***Площадь***: 362 га.

Форма ИТК-2

№	Машинная операция	Состав агрегата	Производительность *Wэ*, га/ч	Дни	Рабочий день, ч	Плановое время, ч	Потребность в агрегатах, шт./га	Агрегаты, шт.	Фактическое время, ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Минимальная обработка	ДД-7820(1)Smaragd 9/600(1)	4,5	15	14	210	0,0010582	1	80
2	Предпосевная обработка почвы	ДД-7820(1)Catros 6001-2(1)	5,1	3	14	42	0,0046685	2	35
3	Протравливание семян		0	3	0	0	0	0	0
4	Посев	ДД-7820(1) D-9/120 (KR12002)(1)	7,02	3	14	42	0,0033917	1	52
5	Внесение минеральных удобрений с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) ZA-M-3000(1) AgGPS/ГЛОНАСС(1)	9,36	3	7	21	0,0050875	2	19
6	Обработка гербицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1)AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,36	5	7	35	0,0025151	1	32
7	Обработка фунгицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1)AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,36	5	7	35	0,0025151	1	32
8	Обработка инсектицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1)AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,36	5	7	35	0,0025151	1	32
9	Прямое комбайнирование с измельчением соломы	Claas Mega 370(1)	3,15	7	14	98	0,0032394	1	115

Таблица П. 2.19

Состав технических средств

Культура: ячмень.

Технология: минимальная с использованием GPS/ГЛОНАСС системы. ***Код технологии***: ТР 063.010.81.

Плановая урожайность: 26 ц/га. ***Площадь***: 362 га.

Форма ИТК-3

№	Марка	Кол-во машин, шт.	Цена машины, руб.	ЧЭЗ, руб./ч	Стоимость работы, руб./га	Сумма, руб.	Загрузка машины, ч	Процент от нормы, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Культиватор Smaragd 9/600	1	963360	1036	230,14	963360	80,00	27,97
2	Опрыскиватель UG-3000	1	1492488	2261	199,08	1492488	96,00	44,86
3	Трактор ДД-7820	2	3942549	1153		7885098	168,00	10,50
4	Сеялка D-9/120 (KR12002)	1	2735640	4134	588,94	2735640	52,00	24,30
5	Разбрасыватель ZA-M-3000	2	236880	566	60,50	473760	19,00	11,11
6	Дисковая борона Catros 6001-2	2	1198983	1109	217,46	2397966	35,00	12,24
7	Комбайн Claas Mega 370	1	7557376	5360	1699,80	7557376	115,00	38,33
8	Навигационная система AgGPS/ГЛОНАСС	2	203267	115		406534	67,00	15,62

Таблица П. 2.20

Карта прямых удельных технических затрат

Культура: ячмень.

Технология: минимальная с использованием GPS/ГЛОНАСС системы. ***Код технологии***: ТР 063.010.81.

Плановая урожайность: 26 ц/га. ***Площадь***: 362 га.

Форма ИТК-4

№	Наименование операций	Состав агрегата	*Эксп.* производительность *W*э, га /ч	Часовые затраты ЧЭЗ, руб./га	Расход топлива, кг/га	Стоимость ГСМ, руб./га	Зарплата, руб./га	Содержание трактора, руб./га	Содержание машины, руб./га	Всего затрат, руб./га	Вес, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Минимальная обработка	ДД-7820(1)Smaragd 9/600(1)	4,5	2189	6,23	105,97	27,13	123,20	230,14	486,44	10,26
2	Предпосевная обработка почвы	ДД-7820(1) Catros 6001-2(1)	5,1	2262	5,50	93,50	23,94	108,71	217,46	443,61	9,36
3	Протравливание семян		0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	Посев	ДД-7820(1) D-9/120 (KR12002)(1)	7,02	5288	4,00	67,93	34,79	78,98	571,55	753,24	15,89
5	Внесение минеральных удобрений с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) ZA-M-3000(1) Ag GPS/ГЛОНАСС(1)	9,36	1835	3,00	50,95	26,09	59,23	59,76	196,03	4,14
6	Обработка гербицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1) AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,4	3530	2,47	41,98	21,50	48,80	198,45	310,73	6,56
7	Обработка фунгицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1) Ag GPS/ГЛОНАСС(1)	11,4	3530	2,47	41,98	21,50	48,80	198,45	310,73	6,56
8	Обработка инсектицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1) Ag GPS/ГЛОНАСС(1)	11,4	3530	2,47	41,98	21,50	48,80	198,45	310,73	6,56
9	Прямое комбайнирование с измельчением соломы	Claas Mega 370(1)	3,15	5360	10,79	183,49	38,76	1479,49	0,00	1701,74	35,91
10	Прочие прямые затраты, 5%				1,85	31,39	10,76	99,80	83,71	225,66	4,76
				Всего	**38,77**	**659,15**	**225,96**	**2095,83**	**1757,98**	**4738,91**	100,00
				Вес, %		13,91	4,77	44,23	37,1	100	

Таблица П. 2.21

Себестоимость технологи

Культура: ячмень.
Технология: минимальная с использованием GPS/ГЛОНАСС системы.
Код технологии: ТР 063.010.81
Плановая урожайность: 26 ц/га. ***Площадь***: 362 га.

Форма ИТК-5

№	Наименование затратных статей	Кол-во ед. измерения	Цена, руб./ед.	Сумма, руб./га	Вес, %
1	2	3	4	5	6
1	Прямые технические затраты			4738,91	57,69
1.1	в том числе: зарплата, чел.ч	1,85	122,1	225,96	2,75
1.2	ГСМ, кг/га	38,77	17	659,15	8,02
1.3	содержание тракторов и комбайнов			2095,83	25,52
1.4	содержание сельхозмашин			1757,98	21,40
2	Семена, кг/га	150	3	450,00	5,48
3	Минеральные удобрения			750,00	9,13
3.1	Карбамид, кг/га	100	7,5	750,00	9,13
4	Хим. средства защиты растений			1883,90	22,94
4.1	Альтерр, л/га	0,15	610	91,50	1,11
4.2	Прима, л/га	0,6	374	224,40	2,73
4.3	Винцит, л/га	1,5	330	495,00	6,03
4.4	Рекс дуо, л/га	0,5	930	465,00	5,66
4.5	Пума супер, л/га	0,8	760	608,00	7,40
5	Всего прямых материальных затрат			7822,81	95,24
6	Накладные расходы, % от материальных затрат	5		391,14	4,76
7	Себестоимость технологии, руб./га			**8213,95**	**100,00**
	Плановая выручка при урожайности 26 ц/га	26	300	**7800**	
	Коэффициент возврата			**0,95**	

Резюме 1.5. Производство ячменя является убыточным для хозяйства.

1.6. Минимальная технология производства гороха с использованием GPS/ГЛОНАСС системы (ТР 063.013.81)

Технология ТР 063.013.81 рассчитана на плановую урожайность 26 ц/га. Площадь посева 100 га. Себестоимость технологии 9741,3 руб./га. Коэффициент возврата вложенных средств 1,54. Интегрированная технологическая карта технологии со всеми материалами расчетов приведена ниже.

Таблица П. 2.22

Карта производственных операций

Культура: горох.

Технология: минимальная с использование GPS/ГЛОНАСС системы. ***Код технологии***: ТР 063.013.81.

Плановая урожайность: 25 ц/га. ***Площадь***: 100 га.

Форма ИТК-1

№	Наименование операций	Год	Дни	Рабочий день, ч	Исходные требования	Тип техники
1	2	3	4	5	6	7
1	Минимальная зяблевая обработка	K	10	10	На глубину 10-12 см	Культиватор дисковый
2	Погрузка удобрений	L	–	–	–	Погрузчик фронтальный
3	Транспортировка удобрений	L	–	–	Расстояние перевозки до 10 км	Автотранспорт
4	Внесение МУ с GPS/ГЛОНАСС системой	L	3	10	Подкормка, карбамид 100 кг/га	Разбрасыватель удобрений
5	Предпосевная обработка почвы	L	3	14	На глубину 10-12 см	Культиватор дисковый
6	Протравливание семян	L	–	–	С увлажнением из расчета 0,5 л/т семян Винцит 1,5 и 10 л/т семян воды	Протравливатель семян
7	Погрузка семян	L	–	–		Погрузчик семян
8	Транспортировка семян	L	–	–	Расстояние перевозки до 10 км	Автотранспорт
9	Посев	L	3	14	Посев на глубину 4 см, норма высева 180 кг/га	Сеялка зерновая
10	Обработка гербицидом с GPS/ГЛОНАСС системой	L	3	7	Опрыскивание пульсар нормой 1 л/га против двудольных сорняков. Расход воды 200-300 л/га	Опрыскиватель
11	Обработка гербицидом с GPS/ГЛОНАСС системой	L	3	7	Флюзилад супер 1 л/га. Опрыскивание в фазу до 3 листа у сорняков независимо от фазы развития культуры. Расход воды 200-300 л/га	Опрыскиватель
12	Обработка инсектицидом с GPS/ГЛОНАСС системой	L	3	7	Альтерр 0,15л/га. Опрыскивание в фазу бутонизации от гороховой зерновки, плодожорки и тли	Опрыскиватель
13	Прямое комбайнирование с измельчением соломы	L	7	14	–	Комбайн зерноуборочный
14	Отвоз зерна от комбайнов	L	–	–	Расстояние перевозки до 10 км	Автотранспорт
15	Первичная очистка зерна	L	–	–	Сразу после уборки	–

Таблица П. 2.23

Карта технической реализации

Культура: горох.

Технология: минимальная с использование GPS/ГЛОНАСС системы. ***Код технологии***: ТР 063.013.81.

Плановая урожайность: 25 ц/га. ***Площадь***: 100 га.

Форма ИТК-2

№	Машинная операция	Состав агрегата	Производительность *Wэ*, га/ч	Дни	Рабочий день, ч	Плановое время, ч	Потребность в агрегатах, шт./га	Агрегаты, шт.	Фактическое время, ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Минимальная зяблевая обработка	ДД-7820(1) Smaragd 9/600(1)	4,5	10	10	100	0,0022222	1	22
2	Внесение МУ с GPS/ГЛОНАСС системой	ДД-7820(1) ZA-M-3000(1) AgGPS/ГЛОНАСС(1)	9,36	3	10	30	0,0035613	1	11
3	Предпосевная обработка почвы	ДД-7820(1)Catros 6001-2(1)	5,1	3	14	42	0,0046685	1	20
4	Посев	ДД-7820(1) D-9/120 (KR12002)(1)	7,02	3	14	42	0,0033917	1	14
5	Обработка гербицидом с GPS/ГЛОНАСС системой	ДД-7820(1) UG-3000(1)AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,36	3	7	21	0,0041918	1	9
6	Обработка гербицидом с GPS/ГЛОНАСС системой	ДД-7820(1) UG-3000(1)132(1)	11,36	3	7	21	0,0041918	1	9
7	Обработка инсектицидом с GPS/ГЛОНАСС системой	ДД-7820(1) UG-3000(1)132(1)	11,36	3	7	21	0,0041918	1	9
8	Прямое комбайнирование с измельчением соломы	Claas Mega 370(1)	3,15	7	14	98	0,0032394	1	32

Таблица П. 2.24

Состав технических средств

Культура: горох.
Технология: минимальная с использование GPS/ГЛОНАСС системы. ***Код технологии***: ТР 063.013.81.
Плановая урожайность: 25 ц/га. ***Площадь***: 100 га.

Форма ИТК-3

№	Марка	Кол-во машин, шт.	Цена машины, руб.	ЧЭЗ, руб./ч	Стоимость работы, руб./га	Сумма, руб.	Загрузка машины, ч	Процент от нормы, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Культиватор Smaragd 9/600	1	963360	1035,61	230,14	963360	22	7,69
2	Опрыскиватель UG-3000	1	1492488	2261,33	199,08	1492488	27	12,62
3	Трактор ДД-7820	1	3942549	1153,37		3942549	94	5,88
4	Сеялка D-9/120 (KR12002)	1	2735640	4134,37	588,94	2735640	14	6,54
5	Разбрасыватель ZA-M-3000	1	236880	566,25	60,50	236880	11	6,43
6	Дисковая борона Catros 6001-2	1	1198983	1109,06	217,46	1198983	20	6,99
7	Комбайн Claas Mega 370	1	7557376	5360,48	1699,80	7557376	32	10,67
8	Навигационная система AgGPS/ГЛОНАСС	1	203267	115,18		203267	38	8,86
	Итого					18330543		

Таблица П. 2.25

Карта прямых удельных технических затрат

Культура: горох.

Технология: минимальная с использование GPS/ГЛОНАСС системы. ***Код технологии***: ТР 063.013.81.

Плановая урожайность: 25 ц/га. ***Площадь***: 100 га.

Форма ИТК-4

№	Наименование операций	Состав агрегата	*Эксп.* производительность *Wэ*, га /ч	Часовые затраты ЧЭЗ, руб./га	Расход топлива, кг/га	Стоимость ГСМ, руб./га	Зарплата, руб./га	Содержание трактора, руб./га	Содержание машины, руб./га	Всего затрат, руб./га	Вес, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Минимальная зяблевая обработка	ДД-7820(1)Smaragd 9/600(1)	4,50	2189	6,23	105,97	27,13	123,20	230,14	486,44	10,26
2	Внесение МУ с GPS/ГЛОНАСС системой	ДД-7820(1)ZA-M-3000(1) AgGPS/ГЛОНАСС(1)	9,36	1835	3,00	50,95	26,09	59,23	59,76	196,03	4,14
3	Предпосевная обработка почвы	ДД-7820(1)Catros 6001-2(1)	5,10	2262	5,50	93,50	23,94	108,71	217,46	443,61	9,36
4	Протравливание семян		0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	Посев	ДД-7820(1) D-9/120 (KR12002)(1)	7,02	5288	4,00	67,93	34,79	78,98	571,55	753,24	15,89
6	Обработка гербицидом с GPS/ГЛОНАСС системой	ДД-7820(1)UG-3000(1)Ag GPS/ГЛОНАСС(1)	11,36	3530	2,47	41,98	21,50	48,80	198,45	310,73	6,56
7	Обработка гербицидом с GPS/ГЛОНАСС системой	ДД-7820(1) UG-3000(1)132(1)	11,36	3529,9	2,47	41,98	21,50	48,80	198,45	310,73	6,56
8	Обработка инсектицидом с GPS/ГЛОНАСС системой	ДД-7820(1) UG-3000(1)132(1)	11,36	3529,9	2,47	41,98	21,50	48,80	198,45	310,73	6,56
9	Прямое комбайнирование с измельчением соломы	Claas Mega 370(1)	3,15	5360,5	10,79	183,49	38,76	1479,49	0,00	1701,74	35,91
10	Прочие прямые затраты, 5%	–	–	–	1,85	31,39	10,76	99,80	83,71	225,66	4,76
				Всего	**38,77**	**659,15**	**225,96**	**2095,83**	**1757,98**	**4738,91**	100,00
				Вес, %	–	13,91	4,77	44,23	37,10	100,00	–

Таблица П. 2.26

Себестоимость технологии

Культура: горох.
Технология: минимальная с использование GPS/ГЛОНАСС системы.
Код технологии: ТР 063.013.81.
Плановая урожайность: 25 ц/га. ***Площадь***: 100 га.

Форма ИТК-5

№	Наименование затратных статей	Кол-во ед. измерения	Цена, руб./ед.	Сумма, руб./га	Вес, %
1	2	3	4	5	6
1	Прямые технические затраты			**4738,91**	**48,65**
1.1	в том числе: зарплата, чел.ч	1,85	122,1	225,96	2,32
1.2	ГСМ, кг/га	38,77	17	659,15	6,77
1.3	содержание тракторов и комбайнов			2095,83	21,51
1.4	содержание сельхозмашин			1757,98	18,05
2	Семена, кг/га	250,00	6	**1500,00**	**15,40**
3	Минеральные удобрения			**750,00**	**7,70**
3,1	Карбамид, кг/га	100,00	7,5	750,00	7,70
4	Хим. средства защиты растений			**2288,50**	**23,49**
4,1	Винцит, л/га	1,50	330	495,00	5,08
4,2	Пульсар, л/га	1,00	1050	1050,00	10,78
4,3	Фюзилад, л/га	1,00	652	652,00	6,69
4,4	Альтерр, л/га	0,15	610	91,50	0,94
5	Всего прямых материальных затрат			9277,41	95,24
6	Накладные расходы, % от материальных затрат	5		**463,87**	**4,76**
	Себестоимость технологии, руб./га			**9741,28**	**100,00**
	Плановая выручка при урожайности 25 ц/га	25	600	**15000**	
	Коэффициент возврата			**1,54**	

Резюме 1.6. Прямые технические затраты в структуре себестоимости достигают 48,6%, а это почти половина. При это заработная плата составляет менее 3%.

1.7. Минимальная технология возделывания рапса с использованием GPS/ГЛОНАСС системы (ТР 063.042.81)

Технология ТР 063.042.81 рассчитана на плановую урожайность 26 ц/га. Площадь посева 200 га. Себестоимость технологии 6338,0 руб./га. Коэффициент возврата вложенных средств 2,52. Интегрированная технологическая карта технологии со всеми материалами расчетов приведена ниже.

Таблица П. 2.27

Карта производственных операций

Культура: рапс.

Технология: минимальная с использованием GPS/ГЛОНАСС системы. ***Код технологии***: ТР 063.042.81.

Плановая урожайность: 16 ц/га. ***Площадь***: 200 га.

Форма ИТК-1

№	Наименование операций	Год	Дни	Рабочий день, ч	Исходные требования	Тип техники
1	2	3	4	5	6	7
1	Минимальная обработка	К	5	10	На глубину 10-12 см	Культиватор дисковый
2	Внесение минеральных удобрений с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	L	3	7	Подкормка, карбамид 100 кг/га	Разбрасыватель удобрений
3	Предпосевная обработка почвы	L	3	14	На глубину 3-4 см	Культиватор дисковый
4	Посев	L	3	14	Посев на глубину 4 см, норма высева 180 кг/га	Сеялка зерновая
5	Обработка гербицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	L	3	7	Опрыскивание Фюзилад Форте нормой 1 л/га против однодольных сорняков. Расход воды 200-300 л/га	Опрыскиватель
6	Обработка инсектицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	L	3	7	Опрыскивание в фазу бутонизации от гороховой зерновки. Плодожорки и тли Альтерр нормой 0,15 л/га	Опрыскиватель
7	Прямое комбайнирование с измельчением соломы	L	7	14	–	Комбайн зерноуборочный
8	Отвоз зерна от комбайнов	L	7	–	Расстояние перевозки до 10 км	Автотранспорт
9	Первичная очистка зерна	L	7	–	Сразу после уборки	–

Таблица П. 2.28

Карта технической реализации

Культура: рапс.

Технология: минимальная с использованием GPS/ГЛОНАСС системы. ***Код технологии***: ТР 063.042.81.

Плановая урожайность: 16 ц/га. ***Площадь***: 200 га.

Форма ИТК-2

№	Машинная операция	Состав агрегата	Производительность *Wэ*, га/ч	Дни	Рабочий день, ч	Плановое время, ч	Потребность агрегатах, шт./га	Агрегаты, шт.	Фактическое время, ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Минимальная обработка	ДД-7820(1)Catros 6001-2(1)	5,1	5	10	50	0,0039216	1	39
2	Внесение минеральных удобрений с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1)ZA-M-3000(1) AgGPS/ГЛОНАСС(1)	9,36	3	7	21	0,0050875	1	21
3	Предпосевная обработка почвы	ДД-7820(1)Catros 6001-2(1)	5,1	3	14	42	0,0046685	1	39
4	Посев	ДД-7820(1) D-9/120 (KR12002)(1)	7,02	3	14	42	0,0033917	1	28
5	Обработка гербицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1)AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,36	3	7	21	0,0041918	1	18
6	Обработка инсектицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1)AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,36	3	7	21	0,0041918	1	18
7	Прямое комбайнирование с измельчением соломы	Claas Mega 370(1)	3,15	7	14	98	0,0032394	1	63

Таблица П. 2.29

Состав технических средств

Культура: рапс.

Технология: минимальная с использованием GPS/ГЛОНАСС системы. ***Код технологии***: ТР 063.042.81.

Плановая урожайность: 16 ц/га. ***Площадь***: 200 га.

Форма ИТК-3

№	Марка	Кол-во машин, шт.	Цена машины, руб.	ЧЭЗ, руб./ч	Стоимость работы, руб./га	Сумма, руб.	Загрузка машины, ч	Процент от нормы, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Опрыскиватель UG-3000	1	1492488	2261	199,08	1492488	36	16,82
2	Трактор ДД-7820	1	3942549	1153		3942549	163	10,19
3	Сеялка D-9/120 (KR12002)	1	2735640	4134	588,94	2735640	28	13,08
4	Разбрасыватель ZA-M-3000	1	236880	566	60,50	236880	21	12,28
5	Дисковая борона Catros 6001-2	1	1198983	1109	217,46	1198983	78	27,27
6	Комбайн Claas Mega 370	1	7557376	5360	1699,80	7557376	63	21,00
7	Навигационная система AgGPS/ГЛОНАСС	1	203267	115		203267	57	13,29

Таблица П. 2.30

Карта прямых удельных технических затрат

Культура: рапс.

Технология: минимальная с использованием GPS/ГЛОНАСС системы. ***Код технологии***: ТР 063.042.81.

Плановая урожайность: 16 ц/га. ***Площадь***: 200 га.

Форма ИТК-4

№	Наименование операций	Состав агрегата	*Эксп.* производительность *W*э, га /ч	Часовые затраты ЧЭЗ, руб./га	Расход топлива, кг/га	Стоимость ГСМ, руб./га	Зарплата, руб./га	Содержание трактора, руб./га	Содержание машины, руб./га	Всего затрат, руб./га	Вес, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Минимальная обработка	ДД-7820(1)Catros 6001-2(1)	5,1	2262	5,50	93,50	23,94	108,71	217,46	443,61	10,16
2	Внесение минеральных удобрений с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1)ZA-M-3000(1) AgGPS/ГЛОНАСС(1)	9,36	1835	3,00	50,95	26,09	59,23	59,76	196,03	4,49
3	Предпосевная обработка почвы	ДД-7820(1)Catros 6001-2(1)	5,1	2262	5,50	93,50	23,94	108,71	217,46	443,61	10,16
4	Посев	ДД-7820(1) D-9/120 (KR12002)(1)	7,02	5288	4,00	67,93	34,79	78,98	571,55	753,24	17,25
5	Обработка гербицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1)UG-3000(1) AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,4	3530	2,47	41,98	21,50	48,80	198,45	310,73	7,11
6	Обработка инсектицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1)UG-3000(1) AgGPS/ГЛОНАСС(1)	11,4	3530	2,47	41,98	21,50	48,80	198,45	310,73	7,11
7	Прямое комбайнирование с измельчением соломы	Claas Mega 370(1)	3,15	5360	10,79	183,49	38,76	1479,49	0,00	1701,74	38,96
8	Прочие прямые затраты, 5%	–	–	–	1,69	28,67	9,53	96,64	73,16	207,98	4,76
				Всего	**35,41**	**601,98**	**200,04**	**2029,36**	**1536,29**	**4367,68**	100,00
				Вес, %	–	13,78	4,58	46,46	35,17	100,00	–

Таблица П. 2.31

Себестоимость технологии

Культура: рапс.
Технология: минимальная с использованием GPS/ГЛОНАСС системы.
Код технологии: ТР 063.042.81
Плановая урожайность: 16 ц/га. ***Площадь***: 200 га.

Форма ИТК-5

№	Наименование затратных статей	Кол-во ед. измерения	Цена, руб./ед.	Сумма, руб./га	Вес, %
1	2	3	4	5	6
1	Прямые технические затраты	–	–	4367,68	68,91
1.1	в том числе: зарплата, чел.ч	1,64	122,1	200,04	3,16
1.2	ГСМ, кг/га	35,41	17	601,98	9,50
1.3	содержание тракторов и комбайнов	–	–	2029,36	32,02
1.4	содержание сельхозмашин	–	–	1536,29	24,24
2	Семена, кг/га	5	35	175,00	2,76
3	Минеральные удобрения	–	–	750,00	11,83
3.1	Карбамид, кг/га	100	7,5	750,00	11,83
4	Химические средства защиты растений	–	–	743,50	11,73
4.1	Альтерр, л/га	0,15	610	91,50	1,44
4.2	Флюзилад, л/га	1	652	652,00	10,29
5	Всего прямых материальных затрат	–	–	6036,18	95,24
6	Накладные расходы, % от материальных затрат	5	–	301,81	4,76
7	Себестоимость технологии, руб./га	–	–	**6337,99**	**100,00**
	Плановая выручка при урожайности 16 ц/га	16	1000	**16000**	–
	Коэффициент возврата	–	–	**2,52**	–

Резюме 1.7. Себестоимость производства семян рапса значительно ниже, чем производство зерновых культур, а их рыночная реализация значительно выше. Поэтому данная культура была самой прибыльной. Объясняется это тем, что семена рапса пригодны для производства биологического топлива для дизельных двигателей, которое пользуется в настоящее время на мировом рынке большим спросом.

1.8. Нулевая технология возделывания рапса с использованием GPS/ГЛОНАСС системы (ТР 063.042.82)

Технология ТР 063.042.82 рассчитана на плановую урожайность 26 ц/га. Площадь посева 200 га. Себестоимость технологии 6338,0 руб./га. Коэффициент возврата вложенных средств 2,52. Интегрированная технологическая карта технологии со всеми материалами расчетов приведена ниже.

Таблица П. 2.32

Карта производственных операций

Культура: рапс.

Технология: нулевая использованием GPS/ГЛОНАСС системы. ***Код технологии:*** ТР 063.042.82.

Плановая урожайность: 16 ц/га. ***Площадь***: 50 га.

Форма ИТК-1

№	Наименование операций	Год	Дни	Рабочий день, ч	Исходные требования	Тип техники
1	2	3	4	5	6	7
1	Внесение минеральных удобрений с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	L	3	7	Подкормка, карбамид 100 кг/га	Разбрасыватель удобрений
2	Посев	L	3	14	Посев на глубину 4 см, норма высева 180 кг/га	Сеялка зерновая
3	Обработка гербицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	L	3	10	Опрыскивание Фюзилад Форте нормой 1 л/га против однодольных сорняков. Расход воды 200-300 л/га	Опрыскиватель
4	Обработка инсектицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	L	3	10	Опрыскивание в фазу бутонизации от гороховой зерновки, плодожорки и тли Альтерр 0,15 л/га	Опрыскиватель
5	Прямое комбайнирование с измельчением соломы	L	7	14	–	Комбайн зерноуборочный
6	Отвоз зерна от комбайнов	L	7	–	Расстояние перевозки до 10 км	Автотранспорт
7	Первичная очистка зерна	L	7	–	Сразу после уборки	

Таблица П. 2.33

Карта технической реализации

Культура: рапс.

Технология: нулевая использованием GPS/ГЛОНАСС системы. ***Код технологии:*** ТР 063.042.82.

Плановая урожайность: 16 ц/га. ***Площадь***: 50 га.

Форма ИТК-2

№	Машинная операция	Состав агрегата	Производительность *W*э, га/ч	Дни	Рабочий день, ч	Плановое время, ч	Потребность в агрегатах, шт./га	Агрегаты, шт.	Фактическое время, ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Внесение минеральных удобрений с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) ZA-M-3000(1)Ag GPS/ГЛОНАСС(1)	9,36	3	7	21	0,0050875	1	5
2	Посев	ДД-7820(1)DMC 601(1)	3,78	3	14	42	0,0062988	1	13
3	Обработка гербицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1)Ag GPS/ГЛОНАСС(1)	11,36	3	10	30	0,0029343	1	4
4	Обработка инсектицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1)Ag GPS/ГЛОНАСС(1)	11,36	3	10	30	0,0029343	1	4
5	Прямое комбайнирование с измельчением соломы	Claas Mega 370(1)	3,15	7	14	98	0,0032394	1	16

Таблица П. 2.34

Состав технических средств

Культура: рапс.
Технология: Нулевая использованием GPS/ГЛОНАСС системы. ***Код технологии:*** ТР 063.042.82.
Плановая урожайность: 16 ц/га. ***Площадь***: 50 га.

Форма ИТК-3

№	Марка	Кол-во машин, шт.	Цена машины, руб.	ЧЭЗ, руб./ч	Стоимость работы, руб./га	Сумма, руб.	Загрузка машины, ч	Процент от нормы, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Сеялка DMC 601	1	2669000	4037	1067,89	2669000	13	6,07
2	Опрыскиватель UG-3000	1	1492488	2261	199,08	1492488	8	3,74
3	Трактор ДД-7820	1	3942549	1153		3942549	26	1,63
4	Разбрасыватель ZA-M-3000	1	236880	566	60,50	236880	5	2,92
5	Комбайн Claas Mega 370	1	7557376	5360	1699,80	7557376	16	5,33
6	Навигационная система AgGPS/ГЛОНАСС	1	203267	115		203267	13	3,03

Таблица П. 2.35

Карта прямых удельных технических затрат

Культура: рапс.
Технология: нулевая использованием GPS/ГЛОНАСС системы. ***Код технологии:*** ТР 063.042.82.
Плановая урожайность: 16 ц/га. ***Площадь***: 50 га.

Форма ИТК-4

№	Наименование операций	Состав агрегата	*Эксп.* производительность *Wэ*, га /ч	Часовые затраты ЧЭЗ, руб./га	Расход топлива, кг/га	Стоимость ГСМ, руб./га	Зарплата, руб./га	Содержание трактора, руб./га	Содержание машины, руб./га	Всего затрат, руб./га	Вес, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Внесение минеральных удобрений с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) ZA-M-3000(1)Ag GPS/ГЛОНАСС(1)	9,36	1835	3,00	50,95	26,09	59,23	59,76	196,03	4,80

Окончание табл. П. 2.35

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	Посев	ДД-7820(1)DMC 601(1)	3,78	5190	7,42	126,15	64,60	146,67	1035,59	1373,02	33,60
3	Обработка гербицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1)Ag GPS/ГЛОНАСС(1)	11,4	3530	2,47	41,98	21,50	48,80	198,45	310,73	7,60
4	Обработка инсектицидом с навигационным прибором GPS/ГЛОНАСС	ДД-7820(1) UG-3000(1)Ag GPS/ГЛОНАСС(1)	11,4	3530	2,47	41,98	21,50	48,80	198,45	310,73	7,60
5	Прямое комбайнирование с измельчением соломы	Claas Mega 370(1)	3,15	5360	10,79	183,49	38,76	1479,49	0,00	1701,74	41,64
6	Прочие прямые затраты, 5%				1,31	22,23	8,62	89,15	74,61	194,61	4,76
				Всего	**27,46**	**466,77**	**181,07**	**1872,15**	**1566,87**	**4086,85**	100,00
				Вес, %		11,42	4,43	45,81	38,34	100	

Таблица П. 2.36

Себестоимость технологии

Культура: рапс.

Технология: нулевая использованием GPS/ГЛОНАСС системы.

Код технологии: ТР 063.042.82

Плановая урожайность: 16 ц/га. ***Площадь***: 50 га.

Форма ИТК-5

№	Наименование затратных статей	Кол-во ед. измерения	Цена, руб./ед.	Сумма, руб./га	Вес, %
1	2	3	4	5	6
1	Прямые технические затраты	–	–	4086,9	67,6
1.1	в том числе: зарплата, чел.ч	1,48	122,1	181,1	3,0
1.2	ГСМ, кг/га	27,46	17	466,8	7,7
1.3	содержание тракторов и комбайнов	–	–	1872,2	30,9
1.4	содержание сельхозмашин	–	–	1566,9	25,9
2	Семена, кг/га	5	35	175	2,9
3	Минеральные удобрения	–	–	750	12,4
3.1	Карбамид, кг/га	100	7,5	750	12,4
4	Хим. средства защиты растений	–	–	743,5	12,3
4.1	Альтерр, л/га	0,15	610	91,5	1,5
4.2	Флюзилад, л/га	1	652	652	10,8
5	Всего прямых материальных затрат	–	–	5755,4	95,2
6	Накладные расходы, % от материальных затрат	5	–	287,8	4,8
7	Себестоимость технологии, руб./га	–	–	**6043,1**	**100,00**
	Плановая выручка при урожайности 16 ц/га	16	1000	**16000**	–
	Коэффициент возврата	–	–	**2,65**	–

Резюме 1.8. Себестоимость производства семян рапса по нулевой технологии ниже, чем по минимальной на 295 руб./га. При этом плановая эффективность производства семян рапса по сравнению с минимальной технологией выросла на 13%.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Александрова, Н. В. Оперативное управление производством : учебник / Н. В. Александрова, Е. А. Боргардт, Н. В. Зубкова [и др.]. – Тольятти : Тольяттинский ГУ, 2014. – 332 с.
2. Безруких, Ю. А. Экономика и управление машиностроительным производством / В. А. Лукин, Ю. А. Безруких. – [Б. и.], 2015. – 36 с.
3. Будылкин, Г. И. Управление сельскохозяйственным производством : наглядное пособие. – М. : Колос, 1984. – 261 с.
4. Виханский, О. С. Менеджмент : учебник / О. С. Виханский, А. Н. Наумов. – 3-е изд. – М. : Гардарика, 1998. – 528 с.
5. Виханский, О. С. Практикум по курсу менеджмент / О. С. Виханский, А. Н. Наумов. – М. : Гардарика, 1998. – 288 с.
6. Голубева, Т. В. Экономика, организация и управление производством : учебное пособие. – Самара : Изд-во СГАУ, 2012. – 57 с.
7. Дубинина, Н. А. Организация и управление производством предприятия: теория и практика : учебное пособие. – Астрахань, 2019. – 102 с.
8. Егоршин, А. П. Управление персоналом. – Нижний Новгород : НИМБ, 1997. – 607 с.
9. Злобин, Е. Человеческий капитал – главный резерв развития производства // АПК: экономика, управление. – 2005. – №2. – С. 21.
10. Иванов, В. А. Краткий курс теории механизмов и машин : учеб. пособие / В. А. Иванов, А. Г. Замалиев. – Казань : КГТУ, 2008. – 158 с.
11. Кнорринг, В. И. Теория, практика и искусство управления. – М. : Изд. группа НОРМА-ИНФРА, 1999. – 528 с.
12. Королев, Ю. Б. Менеджмент в АПК / Ю. Б. Королев, В. Д. Коротнев, Г. Н. Кочетова, Е. Н. Никифорова. – М. : Колос, 2000. – 304 с.
13. Кравченко, И. Н. Оценка надежности машин и оборудования: теория и практика : учебник. – М. : ИНФРА-М, 2012 – 336 с.
14. Краснощеков, Н. В. Основные этапы и эффективность технологической модернизации растениеводства // Техника и оборудование для села. – 2008. – №7. – С. 13-15 ; 2008. – №8. – С. 17-19.
15. Мескон, М. Х. Основы менеджмента / М. Х. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури ; пер. с англ. – М. : Дело, 1996. – 704 с.
16. Пиличев, Н. А. Управление агропромышленным производством. – М. : Колос, 2000. – 296 с.
17. Прокопенко, В. А. Основные критерии ресурсосбережения / В. А. Прокопенко, В. Е. Беляев // Агро-Информ. – 2004. – Вып. 66. – С. 7-9.
18. Прокопенко, В. А. Крестьянская стратегия ресурсосбережения // Агро-Информ. – 2001. – С. 8-11.

19. Прокопенко, В. А. Парадокс сельскохозяйственного кредитования // Агро-Информ. – 2001. – С. 13-15.
20. Прокопенко, В. А. Парадоксы сельскохозяйственного производства // Агро-Информ. – 2000. – С. 36-37.
21. Резник, С. Д. Персональный менеджмент / С. Д. Резник [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : ИНФРА-М, 2002. – 622 с.
22. Терещенко, В. И. Курс для высшего управленческого персонала. – М. : Экономика, 1970. – 807 с.
23. Федеральный регистр технологий производства продукции растениеводства. – М., 1999. – 522 с.
24. Цатхланова, Т. Т. Организация производства на предприятии : учеб. пособие / Т. Т. Цатхланова, Е. Н. Белкина, Э. В. Эрдниева [и др.]. – Элиста : Калмыцкий ГУ, 2013. – 170 с.
25. Цеддиес, Ю. Экономика сельскохозяйственных предприятий : учебное пособие / Ю. Цеддиес, Э. Райш, А. Угаров. – М. : Изд-во МСХА, 1999. – 400 с.
26. Шеметов, П. В. Менеджмент : учебное пособие в схемах, таблицах и рисунках. – М. : ИНФРА-М ; Новосибирск : Сибирское соглашение, 2002. – 176 с.
27. Hallam, A. E. Commodity Costs and Returns Estimation Handbook : A Report of the AAEA Task Force on Commodity Costs and Returns / A. E. Hallam [et al.]. – Iowa State University, Department of Economics. – 2000, February 1. – P. 1315.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие……. 3
Практическое занятие 1. Организационно-управленческая деятельность: содержание и организация труда…… 4
1.1. Управленческая деятельность как особая разновидность трудового процесса…… 4
1.2. Содержание труда руководителя предприятия…… 5
1.3. Элементы организации труда руководителя……. 7
1.4. Учет, контроль и планирование рабочего времени руководителя……. 11
1.5. Собрания, деловые совещания и прием посетителей…….. 14
Практическое занятие 2. Технологии растениеводства и принципы их классификации……. 17
Практическое занятие 3. Классификация технологий по критерию их интенсивности. Базовые факторы интенсификации…… 25
Практическое занятие 4. Система показателей эффективности машинной технологии производства продукции растениеводства 27
Практическое занятие 5. Проблема ресурсосбережения: теория и практика…….. 30
Практическое занятие 6. Методические основы расчета машинотракторного парка, используемые в методиках зарубежных стран… 36
6.1. Маржинальная методика европейских стран…….. 36
6.2. Структура себестоимости технологии производства зерна в США…….. 39
Практическое занятие 7. Методика расчета потребного машинотракторного парка для реализации машинных технологий производства зерна…… 41
7.1. Карта производственных операций (форма ИТК-1)…… 42
7.2. Карта технической реализации (форма ИТК-2)……... 44
7.3. Состав технических средств (форма ИТК-3)…… 46
7.4. Карта прямых удельных технических затрат (форма ИТК-4)… 48
7.5. Себестоимость технологии (форма ИТК-5)……. 50
Практическое занятие 8. Алгоритм формирования суммарных затрат на реализацию технологий возделывания зерновых культур. 51
Приложения……. 53
Рекомендуемая литература……. 93

Учебное издание

Машков Сергей Владимирович
Васильев Сергей Иванович
Ишкин Павел Александрович
Галенко Наталья Николаевна

Организация и управление производством, инженерно-экономическая оценка машин и технологий

Методические указания

Отпечатано с готового оригинал-макета
Подписано в печать 6.12.2019. Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л. 5,58; печ. л. 6.
Тираж 50. Заказ №427.

Редакционно-издательский отдел ФГБОУ ВО Самарского ГАУ
446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2
Тел.: 8 939 754 04 86 доб. 608
E-mail: ssaariz@mail.ru

Министерство сельского хозяйства
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Самарский государственный
аграрный университет»

Кафедра «Педагогика, философия и история»

О. С. Толстова, Д. В. Романов, О. Г. Мальцева

КУЛЬТУРА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Методические указания

Кинель
РИО Самарского ГАУ
2019

УДК 378 (07)
ББК 74.58
Т53

Толстова, О. С.

Т53 Культура профессиональной деятельности и педагогические технологии : методические указания / О. С. Толстова, Д. В. Романов, О. Г. Мальцева. – Кинель: РИО Самарского ГАУ, 2019. – 28 с.

Методические указания включают в себя требования для освоения обучающимися дисциплины «Культура профессиональной деятельности и педагогические технологии», содержат краткое описание профессиональной деятельности педагога и каждой технологии, представленной в теме, контрольные вопросы и список рекомендуемой литературы.

Методические указания предназначены для обучающихся по направлению: 35.04.06 Агроинженерия, а также для обучающихся по направлению: 35.04.04 Агрономия и могут быть использованы во время прохождения педагогической практики.

© ФГБОУ ВО Самарский ГАУ, 2019
© Толстова О.С., Романов Д.В.,
Мальцева О.Г., 2019

Предисловие

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Культура профессиональной деятельности и педагогические технологии» составлены в соответствии с требованиями образовательной программы подготовки обучающихся по направлениям подготовки 35.04.06 Агроинженерия и 35.04.04 Агрономия, а также рабочих программ дисциплин.

Цель методических указаний – способствовать формированию навыков самостоятельного обучения и самоконтроля. Методические указания содержат темы и вопросы, обсуждаемые на практических занятиях. В методических указаниях изложены основные теоретические материалы по каждому занятию, дан перечень рекомендуемой литературы. Каждая тема сопровождается контрольными вопросами для оценки знаний.

В процессе выполнения заданий, предложенных в методических указаниях, обучающийся должен овладеть *компетенциями,* связанными с передачей профессиональных знаний с использованием современных педагогических методик; организацией и руководством работой команды, выработкой командной стратегии для достижения поставленной цели; с коммуникативными технологиями; с анализом и учётом разнообразия культур в процессе межкультурного взаимодействия; с определением и реализацией приоритетов собственной деятельности и способов ее совершенствования на основе самооценки.

Методические указания предназначены для обучающихся по направлениям подготовки 35.04.06 Агроинженерия и 35.04.04 Агрономия.

Тема 1. Культура профессиональной деятельности Реализация приоритетов собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки

Цель занятия: изучить культуру профессиональной деятельности педагога, особенности командной стратегии и межкультурного взаимодействия.

План изучения темы

1.1. Культура профессиональной деятельности педагога.
1.2. Особенности командной стратегии для достижения поставленной цели
1.3. Разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия.

Влияние педагогической среды на обучающегося происходит комплексно через образовательные учреждения, учебный материал и педагога. Каждый из этих элементов оказывает определенное влияние на обучающегося при помощи педагогических средств, способов и технологий.

Профессиональная культура педагога – это важнейшая часть общей культуры преподавателя, заключающаяся в системе его личных и профессиональных качеств, а также специфике его профессиональной деятельности.

Профессиональное становление – это развитие интеллектуальной (профессиональные знания и способы деятельности), эмоциональной (эмоциональное состояние), действенно-волевой (практическая готовность, волевая саморегуляция), духовно-нравственной (мотивы, потребности, ценностные ориентации, рефлексивная культура) сфер личности педагога.

Эффективность общения педагога с обучающимися во многом определяется совокупностью его личностных качеств. Нравственные и профессиональные качества ориентированы в первую очередь на целевые функции управления коллективом обучающихся, неоднородным по своему составу. Высокий уровень развития данных качеств делает педагога психологически привлекательным, близким и понятным воспитанникам, укрепляет его позиции в системе межличностных отношений и создаёт условия для того, чтобы педагог воспринимался обучающимися не как администратор, а как лидер. В профессиональной сфере необходимыми являются

такие качества: общая культура; гуманистическая ориентация личности и деятельности; способность к системному видению проблем образовательного учреждения, педагогических явлений и процессов, к творческому принятию решений; владение современными педагогическими и управленческими технологиями, культура коммуникаций; креативность мышления и деятельности в профессиональной сфере, наличие рефлексивной культуры.

В последнее время актуализировался вопрос подготовки педагога к инновационной деятельности, т.к. развитие творческого потенциала личности – основное условие обеспечения готовности педагога к работе в изменяющихся условиях, и как следствие повышения качества учебно-воспитательной работы современного высшего учебного заведения. В современной теории и практике нет единого представления о слагаемых профессиональной культуры педагога.

Таким образом, педагогическая культура является сферой творческого приложения и реализации педагогических способностей. Педагогическое творчество предполагает наличие инициативности, индивидуальной свободы, независимости суждений, ответственности и мобильности. Личность, воздействуя на других, создает себя, определяет своё собственное развитие, реализуя себя в деятельности.

Поведение участников высокоэффективных команд взаимозависимо, причем их личные цели подчинены общим. Имеет место ответственность перед командой и желание пребывать в ее составе. Команда может иметь и чисто формальный статус, если ее члены будут доверять только самим себе, стремиться к достижению только личных целей и сохранять независимость от других участников. Стратегия достижения цели: 1) изучить цель тщательно, понять ее; 2) определить препятствия на пути к достижению цели; 3) определить способы достижения цели; 4) определить самые действенные способы достижения цели; 5) придерживаться гибкости в планировании.

Педагогическая этика является самостоятельным разделом этической науки и изучает особенности педагогической морали, выясняет специфику реализации общих принципов нравственности в сфере педагогического труда, раскрывает её функции, специфику содержания принципов и этических категорий. Педагогической этикой изучается характер нравственной деятельности педагога и нравственных отношений в профессиональной среде,

разрабатываются основы педагогического этикета, представляющего собой совокупность выработанных в педагогической среде специфических правил общения, манер поведения и т.д. людей, профессионально занимающихся обучением и воспитанием.

Взаимоотношения в коллективе можно рассматривать как систему ориентаций, установок, ожиданий и стереотипов, с помощью которых члены коллектива оценивают и воспринимают друг друга. В свою очередь данные позиции находятся под влиянием содержания, целей, ценностей и организованной совместной деятельностью и являются источником формирования социально-психологического климата в коллективе. В любом коллективе важна культура взаимоотношений. Определяя культуру взаимоотношений, необходимо опираться на то, что человек становиться личностью в процессе освоения социального и культурного опыта общества. Роль культуры в процессе становления личности каждого человека огромна. Именно культура, в сравнении с генетическими механизмами наследования, является средством социального усвоения информации, накопленного обществом исторического опыта человечества. Общая культура может рассматриваться как сумма нескольких культур – психологической, нравственной, эстетической, речевой и др.

Культура взаимоотношений является структурным компонентом внутренней культуры личности педагога и оказывает значительное влияние на результаты педагогической деятельности. Наличие здоровых взаимоотношений оказывает влияние и на личность самих участников педагогического коллектива и на развитие их профессионально значимых качеств. Культура взаимоотношений – это совокупность интеллектуальных, духовных и эмоциональных качеств личности, которые являются необходимым условием успешного взаимодействия и контроля поведения, основываясь на нравственных нормах и правилах общения.

Межкульту́рная коммуника́ция (от англ. cross-cultural communication) – это коммуникация как связь и общение между представителями различных культур, что предполагает как непосредственные контакты между людьми и их общностями, так и опосредованные формы коммуникации (язык, речь, письменность, электронную коммуникацию).

Межкультурная коммуникация изучается на междисциплинарном уровне, в соотношении таких отраслей знания,

как философия, культурология, психология, лингвистика, этнология, антропология, социология, экология средств коммуникации.

Контрольные вопросы и задания

1. Раскройте содержание понятия «профессиональная культура педагога».
2. Раскройте содержание понятия «профессиональное становление».
3. Чем определяется эффективность общения педагога с обучающимися?
4. Охарактеризуйте культуру взаимоотношений.
5. Составьте программу реализации приоритетов собственной деятельности.

Тема 2. Понятие, структура и уровни применения педагогических технологий

Цель занятия: изучить понятия, структуру и уровни применения педагогических технологий.

План изучения темы

2.1. Признаки, определяющие педагогические технологии. Понятия «педагогическая технология».

2.2. Аспекты, уровни и структура педагогической технологии.

2.3. Критерии технологичности.Технология и содержание образования. Технология и мастерство.

Педагогические системы могут быть описаны как целостные явления с помощью ряда признаков (по В.Г. Афанасьеву): составные элементы, компоненты; структура (связи и отношение между частями и элементами); функциональные характеристики; коммуникативные свойства (связи с окружающей средой); историчность, преемственность.

Технология – это совокупность ***приемов***, применяемых в каком-либо деле, мастерстве, искусстве (толковый словарь).

Педагогическая технология – совокупность психолого-педагогических установок, определяющих специальный набор и компоновку форм, методов, способов, приемов обучения, воспитательных средств; она есть организационно-методический

инструментарий педагогического процесса (Б.Т. Лихачев).

Педагогическая технология – это содержательная *техника* реализации учебного процесса (В.П. Беспалько).

Педагогическая технология – это *описание* процесса достижения планируемых результатов обучения (И.П. Волков).

Технология – это *искусство, умение, совокупность методов* обработки, изменения состояния (В.М. Шапель).

Технология обучения – это составная *процессуальная часть* дидактической системы (М. Чошанов).

Педагогическая технология – это продуманная во всех деталях *модель* совместной педагогической деятельности по проектированию, организации и проведению учебного процесса с безусловным обеспечением комфортных условий для учащихся и учителей (В.М. Монахов).

Педагогическая технология – это *системный метод* создания, применения и определения всего процесса преподавания и усвоения знаний с учетом технических и человеческих ресурсов и их взаимодействия, ставящий своей задачей оптимизацию форм образования (ЮНЕСКО).

Педагогическая технология означает *системную совокупность и порядок функционирования* всех личностных, инструментальных и методологических средств, используемых для достижения педагогических целей (М.В. Кларин).

В нашем понимании педагогическая технология является ***содержательным обобщением***, вбирающим в себя смыслы всех определений различных авторов (источников).

Понятие «педагогическая технология» в образовательной практике употребляется на трех иерархически соподчиненных уровнях: **общепедагогическом (общедидактическом); частнометодическом (предметном); локальном (модульном) уровнях.** В структуру педагогической технологии входят: 1) концептуальная основа; 2) содержательная часть обучения (цели обучения – общие и конкретные; содержание учебного материала);

3) процессуальная часть – технологический процесс (организация учебного процесса; методы и формы учебной деятельности школьников; методы и формы работы учителя; деятельность учителя по управлению процессом усвоения материала; диагностика учебного процесса).

Критерии технологичности: концептуальность, системность, управляемость, эффективность, воспроизводимость. Содержание образования как сущностная часть образовательной технологии во многом определяет и ее процессуальную часть. Одна и та же технология может осуществляться различными исполнителями более или менее добросовестно, точно по инструкции или творчески. В этом исполнении неизбежно присутствует личностная компонента мастера. Таким образом, технология работы опосредуется свойствами личности, но только ***опосредуется***, а не определяется.

Контрольные вопросы и задания

1. Раскройте содержательные и структурные особенности педагогической технологии.
2. В чем заключается сущность технологического подхода в обучении?
3. Представьте классификацию педагогических технологий.
4. Сформулируйте основные отличительные признаки педагогической технологии.
5. Составьте анализ понятий педагогической технологии в виде таблицы (автор, определение понятия, категориальная характеристика).

Тема 3. Научные теории – концептуальные основы современных педагогических технологий

Цель занятия: изучить концептуальные основы современных педагогических технологий, способы совершенствования деятельности на основе самооценки.

План изучения темы

3.1. Ассоциативно-рефлекторная теория, ее содержание и особенности.

3.2. Теория поэтапного формирования умственных действий. Теория содержательного обобщения.

3.3. Приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки

Ассоциативно-рефлекторная концепция обучения опирается на основные представления условно-рефлекторной деятельности

головного мозга, вскрытые И.М. Сеченовым и И.П. Павловым. Их суть в том, что человеческий мозг обладает способностью не только запечатлевать сигналы органов чувств, но также устанавливать и воспроизводить связи (ассоциации) между отдельными событиями, фактами, в чем-то сходными и различными. Согласно ассоциативно-рефлекторной теории, усвоение знаний, формирование навыков и умений, развитие личностных качеств человека есть процесс образования в его сознании различных ассоциаций – простых и сложных.

Объединение ассоциаций в системы (формирование интеллекта) происходит в результате аналитико-синтетической деятельности, совершаемой познающим субъектом. Именно эта деятельность определяет отношения значимости, смежности, сходства явлений или объектов и включает их в соответствующие ряды.

В отечественной психологии разработана одна из интереснейших теорий усвоения – ***теория поэтапного формирования умственных действий*** (Л.С. Выготский, П.Я. Гальперин, Н.Ф. Талызина). В ее основе лежит идея о принципиальной общности внутренней и внешней деятельности человека. Согласно этой идее, умственное развитие, как и усвоение знаний, навыков, умений, происходит путем ***интериоризации,*** т.е. поэтапным переходом «материальной» (внешней) деятельности во внутренний умственный план. Последовательность обучения на основе теории поэтапного формирования умственных действий слагается из этапов.

1. *Предварительное знакомство с действием, создание* ориентировочной основы действия (ООД). ООД – текстуально или графически оформленная модель изучаемого действия, система условий правильного его выполнения.

2. Материальное (материализованное) действие. Обучаемые получают и работают с информацией в виде различных материальных объектов: реальных предметов или их моделей, схем, макетов, чертежей и т.д.

3. Этап внешней речи. Обучаемые проговаривают вслух то действие, ту операцию, которую в данный момент осваивают. В их сознании происходит обобщение, сокращение учебной информации, а выполняемое действие начинает автоматизироваться.

4. Этап внутренней речи. Обучаемые проговаривают выполняемое действие, операцию про себя, что способствует его дальнейшему мысленному свертыванию и обобщению.

5. *Этап автоматизированного действия.* Обучаемые автоматически выполняют отрабатываемое действие. Это свидетельствует о том, что действие интериоризировалось, перешло во внутренний план и необходимость во внешней опоре отпала.

Теория содержательного обобщения В.В. Давыдова - Д.Б. Эльконина. В основу этой концепции обучения положена гипотеза о ведущей роли теоретического знания и, в частности, содержательного обобщения в формировании интеллекта. Реализация ее достигается формированием у обучаемого теоретического мышления путем специального построения учебного предмета и особой организации познавательной деятельности.

Самооценка (или же оценка человеком самого себя, своих качеств, возможностей и позиции среди других людей), являясь ядром личности, играет роль важнейшего регулятора поведения и действий человека. Самооценка влияет на все сферы жизнедеятельности человека, а также на его жизненную позицию (она оказывает воздействие на отношения человека с другими людьми и обществом в целом, на уровень требовательности и критичности к самому себе, на формирование отношения личности к своим успехам или же неудачам и т.д.). Поэтому самооценка не только сказывается на эффективности и успехе деятельности человека в данный момент, но и определяет весь последующий процесс развития самой личности. Самооценка человека выполняет множество различных функций: регулятивную, защитную, развивающую, прогностическую и др.

Основные пути становления и совершенствования личности: учитываются задатки человека; воспитание как процесс целенаправленного систематического воздействия на духовное и физическое развитие личности в целях подготовки ее к жизни, общественной и производственной деятельности; образование как процесс систематического усвоения знаний и навыков, необходимых для подготовки человека к жизни и труду; условия жизни, благоприятные для воспитания и образования.

Контрольные вопросы и задания

1. Раскройте содержательные и особенности ассоциативно рефлекторной теории.

2. В чем заключается сущность теории поэтапного формирования умственных действий.

3. В чем заключается сущность теории содержательного обобщения.

4. На что влияет самооценка? Укажите основные пути совершенствования личности.

5. Составьте анализ теорий и концепций в виде таблицы (отличительные признаки теорий и концепций обучения).

Тема 4. Классификация педагогических технологий (ПТ)

Цель занятия: изучить классификацию педагогических технологий.

План изучения темы

3.1. Классификация ПТ по уровню применения, философской основе, ведущему фактору психического развития и концепции усвоения.

3.2. Классификация ПТ по ориентации на личностные структуры, характеру содержания и структуры, организационным формам и по типу управления познавательной деятельностью.

3.3. Классификация ПТ по подходу к обучаемому, преобладающему методу педагогического воздействия, направлению модернизации традиционной системы и по категориям обучающихся.

По ***уровню применения*** выделяются общепедагогические, частнометодические (предметные) и локальные (модульные) технологии. По ***философской основе:*** материалистические и идеалистические, диалектические и метафизические, научные (сциентистские) и религиозные, гуманистические и антигуманные, антропософские и теософские, прагматические и экзистенциалистские, свободного воспитания и принуждения и другие разновидности. **По *ведущему фактору*** психического развития: *биогенные, социогенные, психогенные* и *идеалистские* технологии. Сегодня общепринято, что личность есть результат совокупного влияния биогенных, социогенных и психогенных факторов, но конкретная технология может учитывать или делать ставку на какой-либо из них, считать его основным. По ***научной концепции*** **усвоения опыта** выделяются: *ассоциативно-рефлекторные, бихевиористские, гештальттехнологии, интериоризаторские, развивающие.* Можно упомянуть еще малораспространенные технологии нейро-

лингвистического программирования и суггестивные. По ***ориентации на личностные структуры:*** *информационные технологии* (формирование знаний, умений, навыков по предметам – ЗУН); *операционные* (формирование способов умственных действий – СУД); *эмоционалъно-художественные* и *эмоционально-нравственные* (формирование сферы эстетических и нравственных отношений – СЭН), технологии *саморазвития* (формирование самоуправляющих механизмов личности – СУМ); *эвристические* (развитие творческих способностей) и *прикладные* (формирование действенно-практической сферы – СДП). По ***характеру содержания и структуры*** называются технологии: *обучающие и воспитывающие, светские и религиозные, общеобразовательные и профессионально-ориентированные, гуманитарные и технократические, различные отраслевые, частнопредметные, а также монотехнологии, комплексные (политехнологии) и проникающие технологии.* По ***типу организации и управления познавательной деятельности.*** Виды технологий (по В.П. Беспалько – дидактических систем): *классическое лекционное обучение* (управление – разомкнутое, рассеянное, ручное); *обучение с помощью аудиовизуальных технических средств* (разомкнутое рассеянное, автоматизированное); *система «консультант* (разомкнутое, направленное, ручное); *обучение с помощью учебной книги* (разомкнутое, направленное, автоматизированное) – самостоятельная работа; *система «малых групп»* (цикличное, рассеянное, ручное) – групповые, дифференцированные способы обучения; *компьютерное обучение* (цикличное, рассеянное, автоматизированное); *система «репетитор»* (цикличное, направленное, ручное) – индивидуальное обучение; *«программное обучение»* (цикличное, направленное, автоматизированное), для которого имеется заранее составленная программа.

Классификация ПТ по подходу к обучаемом бывают: авторитарные технологии, дидакто-центрические технологии, личностно-ориентированные технологии, гуманно-личностные технологии, технологии сотрудничества, технологии свободного воспитания, эзотерические технологии.

По ***категории обучающихся*** наиболее важными и оригинальными являются: массовая (традиционная) школьная технология; технологии продвинутого уровня (углубленного изучения предметов, гимназического, лицейского, специального образования и др.); технологии компенсирующего обучения (педагогической коррек-

ции, поддержки, выравнивания и т.п.) и др.

Названия большого класса современных технологий определяются ***содержанием тех модернизаций и модификаций,*** которым в них подвергается существующая традиционная система.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие классификации педагогических технологий на сегодняшний день предложены в педагогике?
2. На чем основана классификация современных педагогических технологий?
3. Раскройте сущность педагогических технологий по уровню применения и философской основе.
4. Раскройте сущность педагогических технологий по ведущему фактору психического развития и концепции усвоения.
5. Составьте сравнительную таблицу классификаций педагогических технологий по ориентации на личностные структуры, по характеру содержания и структуры, по организационным формам и типу управления познавательной деятельностью.

Тема 5. Технологии традиционного и инновационного обучения

Цель занятия: изучить технологии традиционного, инновационного, коммуникативного обучения.

План изучения темы

1. *Технологии традиционного и инновационного обучения.*
2. *Современные коммуникативные технологии для академического и профессионального взаимодействия*

Термин «традиционное обучение» подразумевает классно-урочную организацию обучения, сложившуюся в XVII веке на принципах дидактики, сформулированных Я. А. Коменским. В состав целостного процесса обучения включаются цели, содержание, методы и средства. Методы усвоения знаний основываются на: сообщении готовых знаний, обучении по образцу, индуктивной логике от частного к общему, механической памяти, вербальном изложении, репродуктивном воспроизведении. Традиционная форма обучения – классно-урочная. *К традиционным технологиям в вузе* относят

и *лекционно-семинарско-зачетную систему (форму)* обучения: сначала учебный материал преподносится обучаемым лекционной формой, а затем прорабатывается (усваивается, применяется) на семинарских, практических и лабораторных занятиях, и результаты усвоения проверяются в форме зачетов и экзаменов.

Инновация – это процесс реализации, внедрения новшества, а также деятельность по вхождению новации в определенную социальную практику. В дословном переводе с латинского языка слово «инновация» обозначает не просто «новое», а «в новое». Понятие «инновация» означает новшество, новизну, изменение; инновация как процесс предполагает введение чего-либо нового. Применительно к педагогическому процессу инновация означает введение нового в цели, содержание, методы, формы, технологии обучения и воспитания, организацию совместной деятельности педагога и обучающегося.

Главной целью инновационных технологий образования является подготовка человека к жизни в постоянно меняющемся мире. Инновационные технологии способствуют развитию познавательного интереса у обучающихся, учат систематизировать и обобщать изучаемый материал, обсуждать и дискутировать. Осмысливая и обрабатывая полученные знания, обучающиеся приобретают навыки применения их на практике, получают опыт общения. Инновационные технологии и методы обучения способствуют развитию личности обучающегося, учат его самостоятельности в познавательной деятельности и принятии решений.

К инновационным технологиям относятся: модульное обучение, проблемное обучение, игровые технологии, проектные технологии, технология дифференцированного обучения, дистанционное обучение, исследовательское обучение, активные и интерактивные, коммуникативные технологии и т.д.

Интерактивные технологии, формы и методы способствуют качественному усвоению нового материала. К ним принадлежат: упражнения, носящие творческий характер; групповые задания; образовательные, ролевые, деловые игры, имитация; занятия-экскурсии; занятия-встречи с творческими личностями и специалистами; занятия, направленные на творческое развитие; создание фильмов; использование видеоматериалов, интернета, наглядности; решение сложных вопросов и проблем с помощью методов «дерево решений», «мозговой штурм»; ситуационный метод.

Интерактивное обучение направлено на активное и глубокое усвоение изучаемого материала, развитие умения решать комплексные задачи. Оно включают в себя имитационные и ролевые игры, дискуссии, моделирующие ситуации.

Одной из современных технологий обучения является *обучение через сотрудничество*. Она используется для организации работы в малых группах. Эта технология направлена на эффективное усвоение учебного материала, выработку способности у обучающихся принимать разные точки зрения, умение сотрудничать и решать конфликты в процессе совместной учебной деятельности. Применяемые на современном этапе инновационные технологии предусматривают формирование у обучающихся нравственных ценностей. Инновационные технологии направлены на формирование индивидуальных нравственных установок, основанных на профессиональной этике, выработке критического мышления, умения представлять и отстаивать собственное мнение.

Воспитательные инновационные технологии: здоровьесберегающие технологии; технология групповой деятельности; технология КТД (коллективные творческие дела).

Инновационное обучение направлено на реализацию идей гуманизации образования, на преодоление авторитарного стиля в процессе обучения, использование личностно-ориентированного обучения, поиск условий для раскрытия творческого потенциала и развитие самостоятельной творческой деятельности обучающегося.

Сущность *коммуникативных технологий* – в создании ситуации комфортного и безопасного личностно-значимого общения и взаимодействия, на основе которой происходят все процессы обучения/понимания/усвоения. При этом знаниевый компонент обучения отходит на второй план, а на первый план в процессе обучения выходит приобретение опыта целеориентированной и ценностно-осмысленной коммуникации и соответствующих компетенций.

Реализация коммуникативных технологий обучения связана с рядом предпосылок и принципиальных требований к педагогу, в том числе: активность и интерактивность (т.е. взаимная и совместная активность) всех субъектов образовательной деятельности; приоритетность личностного развития всех участников педагогического процесса перед задачами усвоения знаний; отказ педагога от авторитарной позиции «всезнающего»; адаптивность образовательной среды, педагогический оптимизм (вера в возможности

и добрую волю всех обучающихся); индивидуализация и дифференциация процесса обучения (использование коммуникативных технологий должно допускать разную степень вовлеченности/участия обучающихся).

Часто в коммуникативных технологиях выделяют следующие подвиды: *диалоговое обучение* (ориентированное на непосредственный контакт учителя и обучающихся), *игровое обучение* (ориентированное на моделирование различных ситуаций) и *case-studies* (дословно, исследование случаев, многосторонние исследования значимых ситуаций).

Диалоговое обучение может быть реализовано в разных формах: проблемно-поисковой технологии (педагог ставит перед обучающимися проблемы и задачи, которые они совместно обсуждают); учебные дискуссии (обучающиеся, разделенные на команды, полемизируют по актуальным проблемам); эвристические беседы (педагог вместе с обучающимися в свободной форме обсуждают сложные научные и жизненные проблемы); «круглый стол» (широкое обсуждение актуальных проблем, направленное на обмен мнениями и обсуждение общих идей). Специфические задачи педагога в рамках диалогового обучения: формулировка проблем для обсуждения; подбор и распределение литературы, назначение ответственных (докладчик, содокладчик, оппонент, аналитик), фиксация противоречий и руководство дискуссией. В задачи обучающихся входит поиск и систематизация актуальных высказываний, формулировка собственных мыслей, постановка вопросов, уточнение и корректировка сомнительных утверждений. При этом, весьма важно, чтобы высказывания обучающихся находились в связи с реализуемыми ими социальными позициями: оппонента, рецензента, логика, эксперта и пр.

Как уже отмечалось, *кейс-стади* возник как результат адаптации в образовании ситуаций, связанных с судебным разбирательством и экспертизой. Целью кейса (как правило, используется это сокращение) является приобретение всеми его участниками опыта творческого решения жизненных ситуаций, развитие аналитических, практических и творческих навыков. Отличительной чертой кейса является избыточность информационных и дидактических материалов, а также – предварительное структурирование ситуации обсуждения.

Создание материалов для кейса и разработка сценария проходит несколько этапов. В частности, необходимо определение целей (формируемых компетенций), подбор ситуаций, адекватных природе и формируемым компетенциям, подбор источников информации, формирование материалов, их экспертиза, оптимизация и апробация кейса. Результатом этих усилий становится кейс, включающий, как правило, три компонента: описание конкретной ситуации, вспомогательную информацию и задания к кейсу. Создание кейса – длительный процесс, включающий экспертизу качества его материалов, оценку степени их соответствия формируемым компетенциям, уровень трудности, информативность и пр.

Контрольные вопросы и задания

1. Почему в настоящее время урок является основной формой обучения и воспитания в современной школе, а лекционные, практические (семинарские) и лабораторные занятия – в вузе?
2. Дайте определение понятию «инновация».
3. Что означает понятие «инновация» применительно к педагогическому процессу?
4. Разработайте структуру лекционного, семинарского, практического или лабораторного занятия. Обоснуйте цель занятия: обучающую, воспитательную, развивающую.
5. Разработайте методику проведения лекционного или практического занятия с использованием инновационных технологий обучения.

Тема 6. Технология программированного и модульного обучения

Цель занятия: изучить технологии программированного и модульного обучения.

План изучения темы

1. *Технология программированного обучения.*
2. *Технология модульного обучения*

Программированное обучение возникло в начале 50-х годов XX в., когда американский психолог *Б. Скиннер* предложил повысить эффективность управления усвоением материала, построив его как последовательную программу подачи порций информации и их контроля.

Принципы программированного обучения (по В.П. Беспалько)

Первым принципом программированного обучения является определенная иерархия управляющих устройств.

Сущность *второго принципа — принципа обратной связи* вытекает из кибернетической теории построения преобразований информации (управляющих систем) и требует цикличной организации системы управления учебным процессом по каждой операции учебной деятельности.

Третий принцип программированного обучения состоит в осуществлении шагового технологического процесса при раскрытии и подаче учебного материала.

Четвертый принцип программированного обучения исходит из того, что работа учащихся по программе является строго индивидуальной, возникает естественное требование вести направленный информационный процесс и предоставлять каждому учащемуся возможность продвигаться в учении со скоростью, которая для его познавательных сил наиболее благоприятна, а в соответствии с этим возможность приспосабливать и подачу управляющей информации.

Пятый принцип требует использования специальных технических средств для подачи программированных учебных материалов при изучении ряда дисциплин.

Существуют следующие виды обучающих программ. ***Линейные программы*** представляют собой последовательно сменяющиеся небольшие блоки учебной информации с контрольным заданием.

Разветвленная программа отличается от линейной тем, что обучаемому, в случае неправильного ответа, может предоставляться дополнительная учебная информация, которая позволит ему выполнить контрольное задание, дать правильный ответ и получить новую порцию учебной информации.

Адаптивная программа подбирает или предоставляет обучаемому возможность самому выбирать уровень сложности нового учебного материала, изменять его по мере усвоения, обращаться к электронным справочникам, словарям, пособиям и т.д.

Комбинированная программа включает в себя фрагменты линейного, разветвленного, адаптивного программирования.

Блочное обучение осуществляется на основе гибкой программы, обеспечивающей ученикам возможность выполнять разнообразные интеллектуальные операции и использовать

приобретаемые знания при решении учебных задач.

Модульное обучение (как развитие блочного) – такая организация процесса учения, при которой учащийся работает с учебной программой, составленной из модулей.

Технология модульного обучения является одним из направлений индивидуализированного обучения, позволяющим осуществлять самообучение, регулировать не только темп работы, но и содержание учебного материала. Сам модуль может представлять содержание курса в трех уровнях: полном, сокращенном и углубленном. Программный материал подается одновременно на всех возможных кодах: рисуночном, числовом, символическом и словесном.

Обучающим модулем называют автономную часть учебного материала, состоящую из следующих компонентов: точно сформулированная учебная цель (целевая программа); банк информации: собственно учебный материал в виде обучающих программ; методическое руководство по достижению целей; практические занятия по формированию необходимых умений; контрольная работа, которая строго соответствует целям, поставленным в данном модуле. Общая система знаний и качеств личности представляется как иерархия модулей.

Система контроля и оценки учебных достижений – рейтинговая. Накопление рейтинга происходит в процессе текущего, промежуточного и заключительной контроля.

Объединение идеи модулей с технологией проблемного обучения дает гибкую технологию проблемно-модульного обучения (М.А. Чошанов); она разрабатывается в основном для высшей школы, но может быть применена и в средней.

Еще одним вариантом программированного обучения является технология *полного усвоения знаний.* После определения диагностично поставленных целей по предмету материал разбивается на фрагменты – учебные элементы, подлежащие усвоению. Затем разрабатываются проверочные работы по разделам (сумме учебных элементов), далее организуется обучение, проверка – текущий контроль корректировка и повторная, измененная проработка – обучение. И так до полного усвоения заданных учебных элементов и тем, разделов, предмета в целом.

Контрольные вопросы и задания

1. Каковы концептуальные основы модульного обучения?
2. Охарактеризуйте принципы построения учебных модулей.
3. Каковы принципы программированного обучения по В.П. Беспалько?
4. Какие существуют виды обучающих программ?
5. На примере одного программного модуля создайте подмодули.

Тема 7. Технология проблемного обучения

Цель занятия: изучить технологию проблемного обучения, своеобразие методик проблемного обучения.

План изучения темы

1. Классификационные и содержательные параметры технологии проблемного обучения.

2. Условия продуктивной реализации технологии проблемного обучения.

3. Своеобразие методик проблемного обучения.

Технология проблемного обучения получила большое распространение в 20-30-х гг. в советской и зарубежной школе. Наибольший вклад в разработку теории проблемного обучения внесли такие ученые, как *А.М. Матюшкин, М.И. Махмутов, А.В. Брушлинский, Т.В. Кудрявцев, И.Я. Лернер* и др. *Проблемное обучение* основывается на теоретических положениях Д. Дьюи.

Психолого-педагогические исследования в области творчества и проблемного обучения позволили разработать общую технологию проблемного обучения.

В педагогической литературе встречаются следующие родственные термины и понятия: ***проблемный подход*** (Т.И. Шамова), принцип проблемности (В.Т. Кудрявцев, А.М. Матюшкин), требующие обязательной организации проблемной ситуации; ***проблемные методы*** (В. Оконь) как пути и способы решения педагогических задач; ***проблемное обучение*** как тип обучения (М.И. Махмутов, М.Н. Скаткин), если рассматривать его как относительно самостоятельную дидактическую систему.

Сегодня под ***проблемным обучением*** (технологией проблемного обучения) понимается такая организация учебного процесса, которая предполагает создание в сознании учащихся под руководством педагога проблемных ситуаций и организацию активной самостоятельной деятельности обучающихся по их разрешению, в результате чего и происходит творческое овладение знаниями, умениями, навыками (ЗУН) и развитие мыслительных способностей.

Уровень и характер применения: принцип проблемности является глобальным всепроникающим основанием любой человеческой деятельности.

Целевые ориентации: приобретение (усвоение) знаний, умений и навыков обучаемыми; повышение прочности знаний; усвоение способов самостоятельной учебной деятельности (СУД); формирование поисковых и исследовательских умений и навыков; развитие познавательных и творческих способностей.

Особенности содержания заключаются в следующем: проблемное обучение основано на создании особого вида ***мотивации*** – проблемной, поэтому требует адекватного конструирования дидактического содержания материала, который должен быть представлен как цепь проблемных ситуаций.

Проблемные ситуации могут быть различными по характеру неизвестного, интересности содержания, уровню проблемности, виду рассогласования информации, другим методическим особенностям. По содержанию решаемых проблем различают *три вида проблемного обучения:*

- решение научных проблем (научное творчество) – теоретическое исследование, т.е. поиск и открытие обучаемым нового правила, закона, доказательства; в основе этого вида проблемного обучения лежат постановка и решение теоретических учебных проблем;

- решение практических проблем (практическое творчество) – поиск практического решения, т.е. способа применения известного знания в новой ситуации, конструирование, изобретение; в основе этого вида проблемного обучения лежат постановка и решение практических учебных проблем;

- создание художественных решений – художественное отображение действительности на основе творческого воображения, включающее рисование, игру, музицирование и т.п.

Уровни проблемного обучения отражают разный уровень усвоения обучающимися новых знаний и способов умственной деятельности и разные уровни мышления.

Уровень обычной несамостоятельной активности – это восприятие обучающимися объяснений педагога, усвоение образца умственного действия в условиях проблемной ситуации, выполнение самостоятельных работ, упражнений воспроизводящего характера.

Уровень полусамостоятельной активности характеризуется применением усвоенных знаний в новой ситуации и участием обучающихся в совместном с педагогом поиске способа решения поставленной учебной проблемы. ***Уровень самостоятельной активности*** предусматривает выполнение самостоятельных работ репродуктивно-поискового типа, когда обучаемый самостоятельно работает по тексту учебника, применяет усвоенные знания в новой ситуации, конструирует решение задачи среднего уровня сложности, путём логического анализа доказывает гипотезы – помощь педагога при этом минимальна.

Уровень творческой активности характеризует выполнение самостоятельных работ, требующих творческого воображения, логического анализа, открытия нового способа решения, самостоятельного доказательства. На этом уровне делаются самостоятельные выводы и обобщения, изобретения.

Контрольные вопросы и задания

1. Обоснуйте классификационные и содержательные параметры технологии проблемного обучения.
2. Каковы условия продуктивной реализации технологии проблемного обучения?
3. В чем заключается своеобразие методик проблемного обучения?
4. Раскройте содержание каждого уровня проблемного обучения.
5. Проведите фрагмент занятия с использованием технологии проблемного обучения.

Тема 8. Игровые технологии

Цель занятия: изучить игровые технологии, этапы разработки и реализации игровой технологии.

План изучения темы

1. *Сущность и место игровых технологий в современном образовательном процессе.*
2. *Основные этапы разработки и реализации игровой технологии.*

Игра – это вид деятельности в условиях ситуаций направленных на воссоздание и усвоение общественного опыта, котором складывается и совершенствуется самоуправление поведением. В структуру игры как процесса входят: *роли*, взятые на себя играющими*; игровые действия* как средство реализации этих ролей; *игровое употребление предметов*, т.е. замещение реальных вещей игровыми, условными; *реальные отношения* между играющими; *сюжет (содержание)* – область действительности, условно воспроизводимая в игре.

Педагогическая игра обладает существенным признаком – четко поставленной целью обучения и соответствующим ей педагогическим результатом, которые могут быть обоснованы, выделены в явном виде и характеризуются учебно-познавательной направленностью.

Игры по *виду деятельности* делятся на физические (двигательные), интеллектуальные (умственные), трудовые, социальные и психологические. По *характеру педагогического процесса* выделяются следующие группы игр: обучающие, тренировочные, контролирующие и обобщающие; познавательные, воспитательные, развивающие; репродуктивные, продуктивные, творческие; коммуникативные, диагностические, профориентационные, психотехнические и др.

Рассмотрим существующие виды игр. *Деловые игры* – используются для решения комплексных задач усвоения, закрепления учебного материала, развития творческих способностей и т.д. *Имитационные игры.* На занятиях имитируется деятельность какой-либо организации, предприятия или его подразделения. Имитироваться могут события, конкретная деятельность людей

(деловое совещание, обсуждение плана, проведение беседы и т.д.) и условия, в которых происходит событие или осуществляется деятельность (кабинет начальника, зал заседаний и т.д *Операционные игры.* Они помогают отрабатывать выполнение конкретных специфических операций, например, методики написания сочинения, решения задач, ведения пропаганды и агитации. В операционных играх моделируется соответствующий рабочий процесс. Игры этого типа проводятся в условиях, имитирующих реальные. *Исполнение ролей.* В этих играх отрабатываются тактика поведения, действий, выполнение функций и обязанностей конкретного лица. Для проведения игр с исполнением роли разрабатывается модель-пьеса ситуации, между обучаемыми распределяются роли с «обязательным содержанием». «*Деловой театр».* В нем разыгрывается какая-либо ситуация, поведение человека в этой обстановке. *Псходрама и социодрама.* Это тоже «театр», но уже социально-психологический, в котором отрабатывается умение чувствовать ситуацию в коллективе, оценивать и изменять состояние другого человека, умение войти с ним в продуктивный контакт.

Технология деловой игры состоит из определенных этапов. *Этап подготовки.* Подготовка деловой игры начинается с разработки сценария – условного отображения ситуации и объекта. В содержание сценария входят: учебная цель занятия, описание изучаемой проблемы, обоснование поставленной задачи, план деловой игры, общее описание процедуры игры, содержание ситуации и характеристик действующих лиц. Далее идет ввод в игру, ориентация участников и экспертов. Определяется режим работы, формулируется главная цель занятия, обосновывается постановка проблемы и выбора ситуации. Выдаются пакеты материалов, инструкций, правил, установок. Собирается дополнительная информация. *Этап проведения* – процесс игры. С началом игры никто не имеет права вмешиваться и изменять ее ход. Только ведущий может корректировать действия участников, если они уходят от главной цели игры. В зависимости от модификации деловой игры могут быть введены различные типы ролевых позиций участников. Позиции, проявляющиеся по отношению к *содержанию работы* в группе: генератор идей, разработчик, имитатор, эрудит, диагност, аналитик. *Организационные* позиции: организатор, координатор, интегратор, контролер, тренер, манипулятор. Позиции, проявляющиеся по отношению к *новизне:* инициатор, осторожный критик,

консерватор. *Методологические* позиции: методолог, критик, методист, проблематизатор, рефлексирующий, программист. *Социально-психологические* позиции: лидер, предпочитаемый, принимаемый, зависимый, непринимаемый, отвергаемый. *Этап анализа, обсуждения и оценки* результатов игры. Выступления экспертов, обмен мнениями, защита обучаемыми своих решений и выводов.

Контрольные вопросы и задания

1. Обоснуйте сущность и место игровых технологий в современном образовательном процессе.
2. Назовите основные виды игр. Охарактеризуйте их.
3. Каковы этапы технологии деловой игры?
4. Проведите фрагмент занятия с использованием технологии игровой технологии.

Рекомендуемая литература

1. Современные образовательные технологии : учеб. пособие / ред. : Л.А. Рыбцова. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2014. – 94 с. – http://rucont.ru/efd/292958
2. Толстова, О.С. Педагогические технологии : учеб. пособие / О.С. Толстова. – Самара : РИЦ СГСХА, 2016. – 132 с. – Режим доступа: https://lib.rucont.ru/efd/508690
3. Штейнберг, В.Э. Теория и практика дидактической многомерной технологии / В.Э. Штейнберг. – М. : Народное образование, 2015. – С. 290-298. – 354 с. – http://rucont.ru/efd/324355
5. Толстова, О.С. Педагогические технологии : методические указания / О.С. Толстова. – Самара : РИЦ СГСХА, 2014. – 35 с. – http://rucont.ru/efd/330184

Оглавление

Предисловие 3

Тема 1. Культура профессиональной деятельности Реализация приоритетов собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки 4

Тема 2. Понятие, структура и уровни применения педагогических технологий 7

Тема 3. Научные теории – концептуальные основы современных педагогических технологий 9

Тема 4. Классификация педагогических технологий (ПТ) 12

Тема 5. Технологии традиционного и инновационного обучения 14

Тема 6. Технология программированного и модульного обучения 19

Тема 7. Технология проблемного обучения 21

Тема 8. Игровые технологии 24

Рекомендуемая литература 26

Учебное издание

Толстова Ольга Сергеевна,
Романов Дмитрий Владимирович,
Мальцева Ольга Геннадьевна

Культура профессиональной деятельности и педагогические технологии

Методические указания

Отпечатано с готового оригинал-макета
Подписано в печать 19.11.2019. Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л. 1,75; печ. л. 1,63.
Тираж 50. Заказ № 390.

Редакционно-издательский отдел ФГБОУ ВО Самарского ГАУ
446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2
Тел.: 8 939 754 04 86, доб. 608
E-mail: ssaariz@mail.ru

Министерство сельского хозяйства
Российской Федерации
Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Самарский государственный
аграрный университет»

Кафедра «Технический сервис»

В. А. Милюткин
Д. С. Сазонов
С. Н. Жильцов
М. П. Ерзамаев

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ МАШИНОИСПОЛЬЗОВАНИЯ В АПК

Методические указания

Кинель
РИО Самарского ГАУ
2019

УДК 631.372
ББК 40.72
М60

Милюткин, В. А.
М60 Научные основы организации машиноиспользования в АПК : методические указания / В. А. Милюткин, Д. С. Сазонов, С. Н. Жильцов, М. П. Ерзамаев. – Кинель : РИО Самарского ГАУ, 2019. – 70 с.

Методические указания содержат описание практических занятий по основным разделам курса «Научные основы организации машиноиспользования в АПК». Даны рекомендации по научно-обоснованному решению проблемы повышения эффективности машиноиспользования в АПК. Приводится методика комплектования энергосберегающего агрегата, и оценка организации его работы.

Методические указания предназначены для обучающихся по направлению 35.04.06 «Агроинженерия», а так же могут быть полезны инженерно-техническим работникам АПК.

© ФГБОУ ВО Самарский ГАУ, 2019
© Милюткин В. А., Сазонов Д. С.,
Жильцов С. Н., Ерзамаев М. П., 2019

Предисловие

Настоящие методические указания посвящены вопросам изучения организации машиноиспользования в АПК.

Учебное издание содержит методики комплектования энергосберегающих агрегатов, а так же определения рационального состава агрегата по технологическим параметрам для различных агропредприятий.

В методических указаниях содержится информация по дифференцированию производительности и расхода топлива агрегатом при выполнении полевой сельскохозяйственной операции для конкретных условий. Так же уделено внимание определению объема работ по техническому обслуживанию машинно-тракторного парка.

В издании представлен значительный справочный материал по современной сельскохозяйственной технике, что позволяет практически без привлечения дополнительных источников выполнять задания.

Цель издания «Научные основы организации машиноиспользования в АПК» – формирование у будущих магистров представлений о научных основах организации машиноиспользования в АПК и путях их решения, а так же формирование навыков самостоятельной научно-исследовательской деятельности по технической и технологической модернизации сельскохозяйственного производства, эффективному использованию сельскохозяйственной техники на предприятиях различных организационно-правовых форм.

Практическое занятие №1
Анализ почвенно-климатических условий Среднего Поволжья

Цель занятия: познание физико-механического состава и свойств почвы, необходимое для выбора рациональных приемов ее обработки, научного прогнозирования производительности машин и расхода моторного топлива на сельскохозяйственные работы.

Оборудование, материалы, литература: справочный материал, методические указания, дополнительная литература.

Почвенно-климатические условия земледельческих регионов России позволяют значительно увеличить объемы производства сельскохозяйственной продукции, освободиться от импорта ее из других стран, продукты питания которых нередко уступают отечественным по качеству.

На обширной территории Среднего Поволжья можно встретить различные почвы. Наиболее распространёнными, занимающими большие территории, являются: светло-серые и серые лесные оподзоленные; тёмно-серые лесные оподзоленные; чернозёмы оподзоленные, выщелоченные, типичные, обыкновенные, южные, каштановые, светло-каштановые и др.

В условиях Среднего Поволжья преобладают почвы чернозёмные и каштановые, которые используются для возделывания зерновых и других сельскохозяйственных культур.

Рельеф местности Среднего Поволжья разнообразен. По левобережью Волги лежит пониженная широковолнистая террасово-сыртовая равнина. Центральную часть провинции занимает плато Высокого Заволжья, рассечённое глубокими балками и речными долинами многочисленных притоков Камы, Черемшана, Сока, Большого и Малого Кинеля. Восточная провинция характеризуется развитием широкоувалистых возвышенностей с высотами около 300 м.

Характерной особенностью Среднего Поволжья является опасность проявления водной и ветровой эрозии почв. Это связано с большой распаханностью земель, достигающей 75-85%, сильно выраженным волнистым рельефом и засушливостью климата.

Почва, обрабатываемая земледельческими орудиями, обладает различными физико-механическими свойствами в зависимости от

ее вида, состава и состояния. С точки зрения земледельческой механики такими свойствами являются следующие:

а) Вес. Это свойство характеризуется удельным весом, колеблющимся для большинства видов от 2,4 до 2,8 т/м^3.

б) Связность характеризуется способностью почвы сопротивляться большим усилиям. Почвы, разрушающиеся под воздействием больших усилий при незначительных деформациях, относятся к твердым. Почвы, разрушающиеся под воздействием небольших усилий при значительных деформациях, относятся к мягким. Среди почв указанных категорий имеются средние, приближающиеся в той или иной мере к твердым или мягким. Значение прочности почв на вспашке варьирует в широких пределах – от 0,3 до 1,2 кг/см^2.

в) Прочность структуры – способность почв распадаться на отдельные комочки, представляющие собой некоторую совокупность сцементированного почвенного материала, в отличие от почв, не обладающим этими свойствами – бесструктурных. Основным свойством структурных почв является устойчивость их по отношению к воде, в связи с чем они характеризуются способностью противостоять размывающему действию воды.

г) Влажность почвы характеризуется содержанием воды в каждой единице веса сухого вещества и определяется отношением фактического количества воды к количеству ее в сухом веществе. Количество воды, поглощаемое почвой до полного насыщения, называется полной влагоемкостью. Одна и та же почва в зависимости от содержания в ней воды может быть и твердой, и мягкой. Наиболее благоприятные условия для крошения при влажности почвы, составляющей около 40% от ее полной влагоемкости.

д) Пластичность почвы характеризуется ее способностью деформироваться под воздействием внешних усилий при увлажнении. В зависимости от влажности различают 3 формы пластичности почвы: твердую, пластичную и текучую. Пластичность почвы характеризуется разностью между верхним и нижним пределами пластичности. Для среднесуглинистого чернозема пластичность определена числом 16,5%, тяжелого глинистого чернозема – 27,3%. Легкая супесь и суглинок лишены пластичности.

е) Трение – возникновение сопротивления при скольжении почвы по какой-либо поверхности. Различают трение внешнее, когда поверхностью скольжения служит металлическая поверхность, и трение внутреннее, когда поверхностью скольжения является сама

почва. Внешнее трение характеризуется коэффициентом трения *f*, который для естественных почв колеблется в пределах 0,2-0,8 и доходит до более высоких значений.

Коэффициент трения возрастает с повышением влажности почв и достигает наибольшего значения при влажности 55-60%. Трение сопровождается налипанием почвы на поверхность металла. Коэффициент трения структурных почв меньше, чем бесструктурных, а мягких – меньше, чем плотных.

ж) Механический состав почв характеризуется распределением по фракциям минеральных зерен, из которых составляются почвенные агрегаты. Количество материала каждой фракции выражается в процентах от веса исходной пробы.

Проводимая при обработке деформация почвы имеет целью борьбу с сорной растительностью и создание оптимального сочетания водного, воздушного, теплового, биологического и питательного режимов, позволяющих достичь наибольшей продуктивности возделываемых культур.

Задание. Дайте качественную характеристику почв Среднего Поволжья и охарактеризуйте физико-механический состав и свойства почвы в условиях данного хозяйства.

Контрольные вопросы

1. Как характеризуются мягкие, средние и твердые почвы?
2. Как влияет влажность почвы на тяговое сопротивление рабочих машин?
3. Что такое внутреннее и внешнее трение почвы?
4. Что характеризует пластичность почвы?
5. Как изменяется коэффициент трения от структуры и влажности почвы?
6. В чем суть негативных процессов в земледелии: эрозия, переуплотнение, техногенное загрязнение?
7. Каковы пути повышения плодородия почв и проблемы их осуществления?

Практическое занятие №2

Расчет тяговых свойств современных тракторов при различных условиях движения

Цель занятия: овладеть методикой определения сил сопротивления, действующих на трактор при его движении.

Оборудование, материалы, литература: справочный материал, калькулятор, методические указания.

Тяговый баланс трактора определяет собой равенство между движущей силой и суммой сил сопротивления, действующих на трактор.

1) Рабочая скорость трактора при выполнении им технологической операции должна соответствовать агротехническим требованиям на проведение данной операции (прил. 1). Так как скорость трактора зависит от выбранной передачи, то по приложению 2 необходимо подобрать рабочие передачи (основную и запасную) для трактора, которые обеспечат движение агрегата в указанном диапазоне скоростей $V_{\text{Т}}$.

2) Для выбранных скоростей $V_{\text{Т}}$ необходимо определить передаточное число трансмиссии трактора $i_{\text{Т}}$ (прил. 2).

3) Определить касательную силу тяги на движителях трактора, которая возникает в результате работы двигателя трактора, момент которого через трансмиссию передается на движители

$$P_K = \frac{9554 \cdot N_{eH} \cdot i_T \cdot \eta_{MГ}}{r_K \cdot n_H}, \text{Н},$$

где N_{eH} – номинальная мощность двигателя, кВт (прил. 3);

$i_{\text{Т}}$ – передаточное отношение трансмиссии на выбранной передаче;

n_H – номинальная частота вращения коленчатого вала двигателя (прил. 3), об/мин;

$\eta_{MГ}$ – механический КПД трансмиссии:

– для колесных тракторов $\eta_{MГ} = 0{,}91 - 0{,}92$;

– для гусеничных $\eta_{MГ} = 0{,}86 - 0{,}88$.

$r_{\text{К}}$ – радиус качения ведущих колес или звездочки, м:

– для гусеничных тракторов: $r_К = r_0$;

– для колесных тракторов:

$$r_К = r_0 + \lambda \cdot h,$$

где r_0 – радиус обода или начальной окружности звездочки (прил. 3), м;

λ – коэффициент усадки шины, равный 0,75-0,80;

h – высота пневматической шины (прил. 3), м.

4) Рассчитать максимальную силу сцепления движителей трактора с почвой на заданных агрофонах:

$$F_{max} = \mu \cdot G_{СЦ}, \text{ Н},$$

где μ – коэффициент сцепления движителей с почвой (прил. 4);

$G_{СЦ}$ – сила сцепного веса трактора, Н.

С достаточной для практических расчетов точностью можно принять для гусеничных и полноприводных тракторов сцепной вес равным весу трактора (прил. 3) $G_{СЦ} = G_Т$. Для колесных тракторов с одной ведущей осью сцепной вес равен $G_{СЦ} = 0{,}66...075G_Т$.

Величина коэффициентов сцепления зависит от типа почвы и ее состояния (рыхлая или плотная), влажности почвы, наличия растительного покрова, а также от типа ходовой части трактора (гусеничная или колесная модификация).

5) Выбрать движущую силу трактора на каждой передаче и агротехническом фоне, которая создается двигателем трактора. Движущая сила ограничена двумя независимыми друг от друга пределами. Первый предел движущей силы определяется величиной касательного усилия, развиваемого на ободе ведущего колеса. Вторым пределом движущей силы может являться недостаточное сцепление ведущего аппарата трактора с почвой. Остановка трактора может произойти вследствие чрезмерного буксования движителей трактора. Учитывая, что движущая сила имеет два предела, для движения агрегата необходимо, чтобы максимальное усилие по сцеплению и максимальное усилие, развиваемое на ободе ведущего колеса, были больше сил сопротивления.

Движущая сила определяется путем сравнения касательной силы тяги P_K и максимальной силы сцепления F_{max}:

– если $P_K < F_{max}$, то $P_{ДВ} = P_K$;

– если $P_K > F_{\max}$, то $P_{ДВ} = F_{\max}$.

6) Определить силу сопротивления перекатыванию трактора, которая направлена против движения и зависит от веса трактора, типа движителей (гусеничные или колесные), от вида и состояния почвы, по которой движется трактор. Сила сопротивления перекатыванию определяется на заданных агрофонах.

$$P_{КАЧ} = f \cdot G_{ТР}, \text{ Н},$$

где f – коэффициент сопротивления перекатыванию (прил. 4)

7) При движении машинно-тракторного агрегата в гору (подъем) или при спуске появляются дополнительные усилия от составляющих сил веса трактора и агрегатируемых машин. Эти дополнительные усилия оказывают сопротивление передвижению агрегата в гору и помогают ему при движении под уклон. Поэтому необходимо определить силу сопротивления движению трактора на подъём.

$$P_{ПОД} = i \cdot G_{ТР}, \text{ Н},$$

где i – величина уклона в долях единицы.

8) Определить тяговое (крюковое) усилие трактора:

$$P_{КР} = P_{ДВ} - P_{КАЧ} - P_{ПОД}, \text{ Н}.$$

9) При недостаточном сцеплении $P_K > F_{\max}$ необходимо определить усилие, неиспользуемое по условиям сцепления:

$$P_{НСЦ} = P_K - F_{\max}, \text{ Н}.$$

Задание. Определите силы сопротивления, действующие на трактор, и требуемые усилия для преодоления сил сопротивления при установившейся рабочей скорости.

Контрольные вопросы

1. Чему равен механический КПД трансмиссии для колесных тракторов?
2. От чего зависит величина коэффициентов сцепления?
3. Чем ограничена движущая сила трактора?
4. В каких случаях появляются дополнительные усилия от составляющих сил веса трактора и агрегатируемых машин?
5. Когда определяют усилие, неиспользуемое по условиям сцепления?

Практическое занятие №3
Анализ энергетических затрат МТА

Цель занятия: овладеть методикой определения баланса мощности трактора.

Оборудование, материалы, литература: справочный материал, калькулятор, методические указания.

Баланс мощности представляет собой равенство между эффективной мощностью на валу двигателя и суммой мощностей, требуемых для преодоления действующих на трактор сил сопротивления.

1) Определить рабочие скорости движения агрегата V_P:

$$V_P = V_T \cdot \eta_\delta, \text{ км/ч},$$

где η_δ – коэффициент, учитывающий буксование движителей:

$$\eta_\delta = 1 - \frac{\delta}{100},$$

где δ – буксование (прил. 5).

2) Определить тяговую мощность трактора, которая зависит от тягового усилия трактора и рабочей скорости его движения:

$$N_{KP} = \frac{P_{KP} \cdot V_P}{3600}, \text{ кВт.}$$

3) Определить тяговый коэффициент полезного действия трактора в заданных условиях:

$$\eta_T = \frac{N_{KP}}{N_{eH}}.$$

4) Определить мощность, теряемую в трансмиссии. Потери мощности в трансмиссии связаны с преодоление сил трения в подшипниках и между зубьями шестерен, а так же со взбалтыванием масла в картерах передач:

$$N_{TP} = N_e(1 - \eta_{MГ}), \text{ кВт.}$$

5) Определить мощность, затрачиваемую на передвижение трактора:

$$N_{КАЧ} = \frac{P_{КАЧ} \cdot V_P}{3600}, \text{ кВт.}$$

6) Определить мощность, затрачиваемую на преодоление подъема:

$$N_{ПОД} = \frac{P_{ПОД} \cdot V_P}{3600}, \text{ кВт.}$$

7) Определить мощность, затрачиваемую на буксование ведущего аппарата:

$$N_{БУК} = \frac{(P_{КР} + P_{КАЧ} + P_{ПОД}) \cdot (V_T - V_P)}{3600}, \text{ кВт.}$$

8) Определить мощность, не используемую по условиям сцепления:

$$N_{НСЦ} = \frac{P_{НСЦ} \cdot V_P}{3600}, \text{ кВт.}$$

9) Проверить равенство эффективной мощности двигателя по сумме составляющих мощности:

$$N_{eH} = N_{КР} + N_{ТР} + N_{КАЧ} + N_{ПОД} + N_{БУК} + N_{НСЦ}, \text{ кВт.}$$

Допустимое отклонение 5%.

Задание. Определите мощности, развиваемые трактором и требуемые для преодоления сил сопротивления при установившейся рабочей скорости.

Контрольные вопросы

1. Чем вызвано снижение рабочей скорости трактора?
2. От чего зависит тяговая мощность трактора?
3. Почему имеются потери мощности в трансмиссии?
4. Как определить мощности, затрачиваемые на передвижение трактора и преодоление подъема?
5. Что характеризует тяговый к.п.д. трактора?
6. Как определяется мощность, не используемая по условиям сцепления?
7. Как выражается баланс мощности трактора?

Практическое занятие №4
Комплектование ресурсосберегающего МТА

Цель занятия: овладеть методикой комплектования и расчета машинно-тракторного агрегата.

Оборудование, материалы, литература: справочный материал, калькулятор, методические указания.

При комплектовании агрегата необходимо предварительно определить наибольшую возможную ширину захвата агрегата при

выбранных значениях скорости и соответствующего тягового усилия.

1) Для прицепного агрегата:

$$B_{\max} = \frac{P_{KP}}{k + g_M \cdot i + g_C \cdot (f_C + i)}, \text{ м},$$

где k – удельное сопротивление (прил. 6), Н/м;

$g_{\text{М}}$ – масса сельскохозяйственной машины, приходящей на 1 м ширины захвата, Н/м:

$$g_M = \frac{G_M}{B}, \text{ Н/м},$$

где G_M – масса сельскохозяйственной машины (прил. 7), Н;

B – ширина захвата машины (прил. 7), м;

$g_{\text{С}}$ – масса сцепки на 1 м ширины захвата, Н/м:

$$g_C = \frac{G_C}{B_C}, \text{ Н/м},$$

где G_C – масса сцепки (прил. 8), Н;

B_C – ширина захвата сцепки (прил. 8), м;

f_C – коэффициент сопротивления качению сцепки (прил. 4).

Для навесного агрегата

$$B_{\max} = \frac{P_{KP}}{k_{\text{Н}} + g_M \cdot (\lambda \cdot f + i)}, \text{ м},$$

где $k_{\text{Н}}$ – удельное сопротивление навесной машины, Н/м:

$$k_{\text{Н}} = (0{,}8 - 0{,}85)k,$$

где k – удельное сопротивление (прил. 6), Н/м;

$g_{\text{М}}$ – масса сельскохозяйственной машины, приходящей на 1 м ширины захвата, Н/м:

$$g_M = \frac{G_M}{B}, \text{ Н/м},$$

где G_M – масса сельскохозяйственной машины (прил. 7), Н;

B – ширина захвата машины (прил. 7), м;

λ – коэффициент, учитывающий величину догрузки трактора при работе с навесными машинами:

– при пахоте $\lambda = 0{,}5\text{-}1{,}0$;

– при культивации $\lambda = 1{,}0\text{-}1{,}5$;

– при глубоком рыхлении $\lambda = 1{,}6 - 2{,}0$.

2) Для многомашинных агрегатов необходимо определить число машин в агрегате с учетом ширины захвата одной машины:

$$m = \frac{B_{\max}}{B},$$

где B – ширина захвата одной машины, м.

Если поученное число машин в агрегате дробное, то округление до целого числа проводится в меньшую сторону.

3) Определить фронт сцепки A. Фронт сцепки – это расстояние между крайними точками, к которым можно присоединить машины:

$$A = (m-1)\cdot B, \quad \text{м}.$$

По полученному значению A выбрать сцепку (прил. 8).

В том случае, если полученное значение фронта сцепки A превышает значения, указанные в приложении 7, то принимается сцепка с максимальным фронтом, при условии соответствия ее по техническим характеристикам с.-х. машины, указанным в задании. И для этой сцепки определяется количество машин в агрегате:

$$m = \frac{A_{СЦ}}{B} + 1,$$

где $A_{СЦ}$ – фронт сцепки, указанный в приложении 8.

4) Фактическая ширина захвата агрегата:

$$B_{АГ} = B \cdot m \text{, м}.$$

5) Определить тяговое сопротивление агрегата $R_{АГ}$, возникающее в результате перемещения агрегата и выполнения рабочей машиной технологического процесса:

– прицепной агрегат:

$$R_{АГ} = k \cdot B \cdot m + G_M \cdot m \cdot i + G_С \cdot (f_C + i) \text{, Н};$$

– навесной агрегат:

$$R_{АГ} = k \cdot B \cdot m + G_M \cdot m \cdot (\lambda \cdot f + i), \text{ Н};$$

– пахотный агрегат:

$$R_{АГ} = k_П \cdot b_К \cdot m_К + G_П \cdot k_g \cdot i \text{, Н},$$

где $k_П$ – удельное сопротивление плуга, Н/см, которое определяется по зависимости:

$$k_П = k_0 \cdot h_В,$$

где k_0 – удельное сопротивление корпуса плуга (прил. 9) Н/см^2;

$h_В$ – глубина вспашки, см (20-30 см);

$b_К$ – ширина захвата корпуса плуга, см;

$m_К$ – количество корпусов;

$G_П$ – вес плуга (прил. 7), Н;

k_g – коэффициент, учитывающий вес земли на корпусах плуга (1,1-1,4).

6) Определить коэффициент использования нормального тягового усилия $\eta_и$:

$$\eta_И = \frac{R_{АГ}}{P_{КР}}.$$

Рекомендуемые значения коэффициента использования тягового усилия:

– для пахотных агрегатов $\eta_И = 0{,}85 - 0{,}95$ (плуги и плоскорезы);

– для непахотных агрегатов $\eta_И = 0{,}92 - 0{,}98$ (бороны, культиваторы, сеялки).

Сравнить значение $\eta_И$, полученное в результате расчета с требуемым. Если $\eta_И$ больше 1,0, то необходимо перейти на передачу ниже и повторить расчет.

При невозможности загрузить трактор до требуемых значений коэффициента использования без нарушений агротребований по скорости движения, необходимо принять ту передачу, при которой значение $\eta_И$ наибольшее.

7) Определить рабочую скорость движения агрегата $V_Р$:

$$V_P = 0{,}377 \cdot \frac{n_Д \cdot r_К}{i_Т} \cdot \eta_\delta, \text{ км/ч},$$

где $n_Д$ – частота вращения коленчатого вала при расчетном режиме, мин$^{-1}$;

Частота $n_Д$ определяется по условиям сцепления движителя с почвой.

При достаточном сцеплении ($P_{КН} < F_{\max}$):

$$n_Д = n_Н + (n_Х - n_Н) \cdot \frac{P_{КР} - R_{АГ}}{P_{КН}}, \text{ мин}^{-1}.$$

При недостаточном сцеплении ($P_{КН} > F_{\max}$):

$$n_{Д} = n_{Н} + \left(n_{Х} - n_{Н}\right) \cdot \frac{P_{КН} - F_{\max}}{P_{КН}}, \text{ мин}^{-1},$$

где $n_{Х}$ – частота вращения коленчатого вала на холостом ходу, мин$^{-1}$.

Задание. Рассчитайте ширину захвата и тяговое сопротивление агрегата и рабочую скорость агрегата, при необходимости подберите сцепку по индивидуальному заданию.

Контрольные вопросы

1. В чем разница между коэффициентом удельного сопротивления и удельным весом машины?
2. Как определить ширину захвата навесных машин?
3. Почему меняется значение коэффициента, учитывающего величину догрузки трактора при работе с навесными машинами?
4. Как определить число машин для широкозахватного агрегата?
5. Что характеризует фронт сцепки?
6. Как определяется тяговое сопротивление пахотного агрегата?
7. Что характеризует коэффициент использования нормального тягового усилия?
8. Как влияет буксование на изменение рабочей скорости движения агрегата?

Практическое занятие №5
Графоаналитическое комплектование энергосберегающих агрегатов

Цель занятия: овладеть методикой графоаналитического комплектования агрегата.

Оборудование, материалы, литература: справочный материал, калькулятор, методические указания.

Для удобства оперативного выбора энергосберегающих агрегатов непосредственно целесообразно использовать номограмму, в основе которой лежит регуляторная характеристика двигателя трактора.

Последовательность построения номограммы:

1) В первой четверти по данным тормозных испытаний строится регуляторная характеристика двигателя в функции крутящего момента *M*.

2) Во второй четверти определяют в функции *M* касательную силу тяги трактора по формуле

$$P_K = \frac{M \cdot i_T \cdot \eta_{MГ}}{r_K}.$$

Эту зависимость для каждого значения передаточного числа изображают лучом, проходящим через начало координат.

Соответствующую касательную силу тяги P_K определяют на вертикальной оси второй четверти. На этой же оси определяют соответствующее тяговое усилие трактора P_{KP}:

– при достаточном сцеплении:

$$P_{KP} = 0{,}159 \frac{N_{eH} \cdot i_T \cdot \eta_{MГ}}{r_K \cdot n_H} - G_T\left(f \pm \frac{i}{100}\right);$$

– при недостаточном сцеплении:

$$P_{KP} = G_{СЦ} \cdot \mu - G_T\left(f \pm \frac{i}{100}\right).$$

3) В третьей четверти строят графики зависимости расчетной ширины захвата агрегата:

$$B_T = \frac{P_{KP}}{k}.$$

Каждому значению удельного тягового сопротивления соответствует луч, проходящий через начало координат.

Такими лучами в третьей четверти можно охватить практически все возможные операции и агрегаты.

Расчетное число машин $n_{MP} = \frac{B_T}{b_M}$ округляют до целого значения.

Затем определяют фактическую ширину захвата агрегата

$$B_{AГ} = b_M n_M.$$

Двигаясь по номограмме в обратном направлении от $B_{AГ}$, можно определить в первой четверти степень нагрузки двигателя по

мощности. При недостаточной нагрузке двигателя можно по номограмме проверить также возможность работы на более высокой передаче.

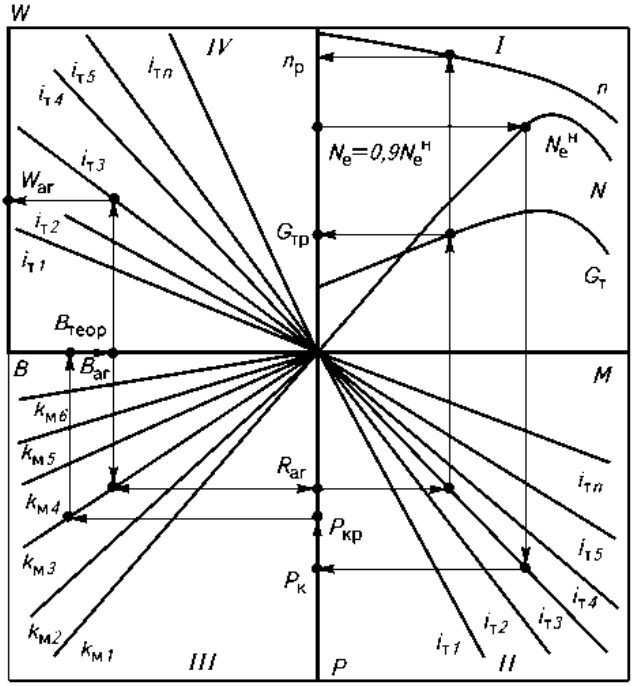


Рис. 1. Номограмма для комплектования рациональных агрегатов

4) В четвертой четверти определяют чистую производительность

$$W = \frac{B \cdot r_K \cdot n_H}{i_T\left(1-\frac{\delta}{100}\right)}.$$

По значениям W можно приближенно проанализировать возможные варианты агрегатирования, чтобы обеспечить максимальную чистую производительность и на этой основе оптимизировать значение ширины захвата.

Последовательность работы с номограммой.

1) Задаваясь в первой четверти допустимой степенью нагрузки двигателя, проводят горизонталь до пересечения с графиком мощ-

ности N регуляторной характеристики двигателя. Из точки пересечения опускают вертикаль до луча выбранной передачи во второй четверти. Передачу с требуемым передаточным числом трансмиссии предварительно выбирают с учетом агротехнических ограничений.

2) На вертикальной оси в соответствии со стрелками определяют касательную силу тяги трактора P_K. Сравнив ее с максимальной силой сцепления движителя трактора с почвой, определяют движущую силу $P_{ДВ}$. Далее определяют тяговое усилие трактора $P_{КР}$ и отмечают его на той же оси, где и P_K.

3) В третьей четверти по значению удельного сопротивления находят возможную ширину захвата и, определившись с числом машин в агрегате, устанавливают фактическую ширину захвата агрегата $Bаг$.

4) В четвертой четверти для выбранной передачи с передаточным числом определяют чистую производительность агрегата W.

Возвращаясь из точки $Bаг$ во вторую четверть номограммы, определяют тяговое сопротивление агрегата, а в первой четверти – рабочий часовой расход топлива и частоту вращения коленчатого вала двигателя, по которой определяют расчетную скорость движения агрегата

Задание. По индивидуальному заданию построить номограмму для комплектования агрегата и определить по заданным значениям эксплуатационно-технологические показатели агрегата.

Контрольные вопросы

1. Что лежит в основе графоаналитического способа комплектования МТА?
2. Какова последовательность построения номограммы?
3. Как рассчитывается тяговое усилие трактора $P_{КР}$?
4. Как определяется производительность при построении номограммы?
5. Какова последовательность графоаналитического комплектования МТА?

Практическое занятие №6

Анализ динамических и экономических показателей работы современных двигателей

Цель занятия: овладеть методикой построения регуляторной характеристики двигателя и определения показателей работы двигателя.

Оборудование, материалы, литература: справочный материал, калькулятор, методические указания

Анализ динамических и экономических показателей работы современных двигателей основывается на регуляторной характеристике двигателя.

1) По данным тормозных испытаний построить регуляторную (скоростную) характеристику тракторного двигателя. Для этого по оси абсцисс наносят равномерную шкалу значений частоты вращения n, а по оси ординат – равномерные шкалы N_e, M_e, G_T, g_e. Причем шкалы каждого из показателей наносят по осям отдельно. Масштабы следует выбирать такими, чтобы кривые заполняли площадь рисунка и не было бы наложения кривой одного параметра на кривую другого параметра.

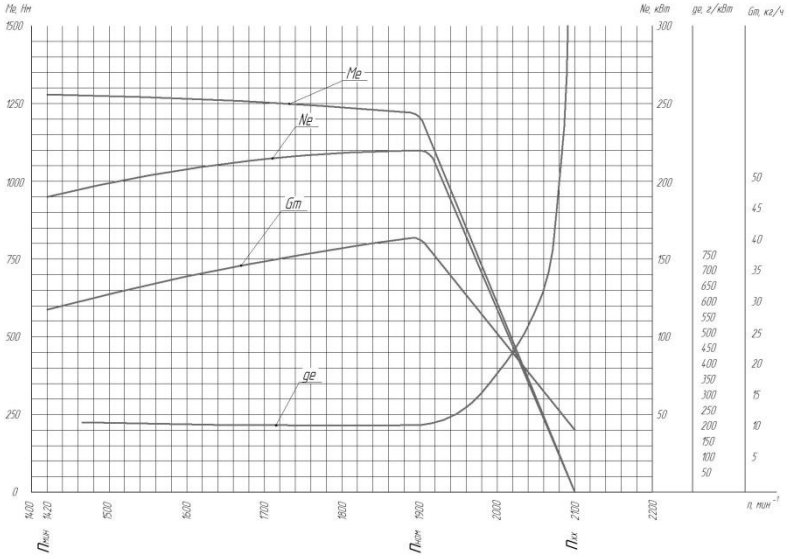


Рис. 2. Регуляторная (скоростная) характеристика тракторного двигателя

2) Определить коэффициент приспособляемости двигателя по крутящему моменту:

$$К_{П} = \frac{M_{вmax}}{M_{вН}}.$$

Коэффициент приспособляемости двигателя является важнейшим показателем динамических свойств двигателя и показывает его приспособляемость к преодолению временных увеличений сопротивления агрегата без переключения на пониженную передачу.

Для современных тракторных дизельных двигателей величина этого коэффициента находится в пределах от 1,05 до 1,2.

3) Определить коэффициент, характеризующий снижения частоты вращения коленчатого вала двигателя при перегрузке:

$$К_{вр} = \frac{n_{ПР}}{n_{Н}}.$$

Ввиду того, что при перегрузке снижается частота вращения вала двигателя, а следовательно, и скорость агрегата, в результате чего увеличивается возможность трактора преодолеть небольшое временно возросшее сопротивление агрегата без переключения на низшую передачу.

У двигателей тракторов величина коэффициента должна составлять 0,5-0,7.

4) Определить коэффициент использования номинальной мощности двигателя:

$$\eta_{N_e} = \frac{N_e}{N_{eH}}.$$

5) Определить коэффициент фактической загрузки двигателя:

$$\eta_{M_e} = \frac{M_e}{M_{eH}}.$$

6) Заполнить таблицу 1 зависимости удельного расхода топлива g_e от степени загрузки двигателя. Для этого по характеристике двигателя (регуляторной зоне) определить удельный расход топлива, соответствующий использованию мощности N_{eH} на 100, 90, 80, 70, 60, 50%. Для чего на кривой N_e наметить точки, соответствующие указанной мощности, и, проведя через них вертикальные прямые до пересечения с кривой расхода топлива g_e, снять показания. Пересчитать в процентах.

Таблица 1

Изменение удельного расхода топлива от загрузки двигателя

Загрузка двигателя		Удельный расход	
N_e, %	$N_в$, кВт	g_e, г/кВт·ч	g_e, % g_{eH}
100	N_{eH} =	g_{eH} =	100
90			
80			
70			
60			
50			

Оценить характер изменения удельного расхода топлива при наиболее распространенном режиме работы двигателя в 70-90%.

По результатам дать заключение об эксплуатационных показателях работы двигателя.

Задание. Построить регуляторную характеристику двигателя и определить коэффициенты приспособляемости и использования мощности.

Контрольные вопросы

1. Как определяется и строится регуляторная характеристика двигателя?
2. Как влияет увеличение числа оборотов на эксплуатационные показатели работы двигателя?
3. Что такое регуляторная и безрегуляторная зоны работы двигателя?
4. Что характеризует коэффициент снижения частоты вращения коленчатого вала двигателя при перегрузке?
5. Как изменяется удельный расход топлива от загрузки двигателя?
6. Каковы пути повышения динамических и экономических показателей работы двигателя трактора в заданных условиях?

Практическое занятие №7
Оценка влияния условий работы МТА на эксплуатационные показатели

Цель занятия: освоить алгоритм выбора рационального способа движения агрегата, определить основные кинематические характеристики трактора, рабочего участка и производительность МТА.

Оборудование, материалы, литература: справочный материал, калькулятор, методические указания.

Выбрать способ движения агрегата исходя из агротехнических требований, предъявляемых к производственному процессу.

Челночный способ движения – один из самых распространенных благодаря своей простоте, и для него не надо разбивать поле на загоны. Этим способом выполняют подавляющее большинство операций: внесение удобрений; лущение стерни и дискование; плоскорезную обработку почвы; вспашку оборотным и фронтальным плугами; боронование при небольшой ширине захвата агрегата; сплошную культивацию; прикатывание почвы; посев и посадку сельскохозяйственных культур; междурядную обработку пропашных культур; уборку сельскохозяйственных культур агрегатами с фронтальными рабочими органами, навешиваемыми на трактор спереди, и др.

Всвал, вразвал и чередование загонов всвал и вразвал связаны с вспашкой и, естественно, их чаще применяют на этой операции. Однако эти способы движения возможны и на некоторых других операциях, включая лущение стерни и дискование, боронование, посев зерновых (непропашных) культур; уборку сельскохозяйственных культур и др.

Беспетлевой комбинированный способ движения чаще применяют на вспашке, а также на уборке картофеля и сахарной свеклы, где нежелательны петлевые повороты.

1) В зависимости от выбранного способа движения, определить ширину поворотной полосы (часть загона, временно выделяемая для поворотов):

– при петлевых поворотах:

$$E = 3 \cdot R + e, \text{ м},$$

– при беспетлевых поворотах:

$$E = 1{,}5 \cdot R + e, \text{ м},$$

где R – радиус поворота агрегата, м;

e – длина выезда агрегата, м.

Длина выезда агрегата e – расстояние, на которое нужно продвинуть агрегат от контрольной линии на поворотной полосе до начала поворота с тем, чтобы избежать огрехов или порчи растений:

– для прицепных машин $e = 0{,}5 - 0{,}75 l_{\text{а}}$;

– для навесных машин $e = 0{,}35 - 0{,}65 l_{\text{а}}$,

где $l_{\text{а}}$ – кинематическая длина агрегата, которая складывается из кинематических длин трактора l_{TP}, сцепки l_C и рабочей машины l_M:

$$l_{\text{а}} = l_{\text{ТР}} + l_{\text{С}} + l_{\text{М}}, \text{ м},$$

где $l_{\text{ТР}}$ – кинематическая длина трактора (прил. 10), м;

$l_{\text{С}}$ – кинематическая длина сцепки (прил. 10), м;

$l_{\text{М}}$ – кинематическая длина с.-х. машины (прил. 10, 11), м.

Радиус поворота агрегата R определяется следующим образом:

- *для посевных и культиваторных агрегатов*:
  - с одной машиной $R=1,7B_{АГ}$;
  - с двумя машинами $R=1,2B_{АГ}$;
  - с тремя машинами $R=0,9B_{АГ}$;
  - с четырьмя-пятью $R=0,8B_{АГ}$;
- *для бороновальных и лущильных агрегатов*: $R=B_{АГ}$;
- *для навесных агрегатов*: $R=R_{ТРАКТОРА}$ (прил. 12);
- *для прицепных пахотных агрегатов:* $R=(3,4…7)B_{АГ}$.

В связи с тем, что ширина поворотной полосы должна быть кратной ширине захвата агрегата, то после расчетов необходимо откорректировать полученное значение ширины поворотной полосы E.

2) Определить рабочую длину загона по выражению:

$$L_P = L - 2E, \text{ м},$$

где L – длина поля, м.

3) Для способов движения, которые требуют разбивки поля на загоны, необходимо определить ширину загона и количество загонов:

– движение всвал, вразвал:

$$C = \sqrt{2B_{АГ} \cdot L + 16R^2} \text{ , м;}$$

– комбинированный способ движения:

$$C = \sqrt{3B_{\text{АГ}} \cdot L} \text{ , м;}$$

– круговой способ:

$$C = 0,22 \cdot L \text{ , м.}$$

Расчетная ширина загона должна корректироваться с тем, что бы она была кратной двойной ширине захвата агрегата.

Количество загонов:

$$n_{\text{З}} = \frac{B_{П}}{C},$$

где $B_{П}$ – ширина поля, м.

4) Определить длину холостого пути в зависимости от выбранного способа движения:

– челночный способ движения (петлевые грушевидные повороты):

$$l_X = 6R + 2e \text{ , м;}$$

– способ движения всвал или вразвал:

$$l_X = 2{,}4R + 0{,}5C - 0{,}5B_{АГ} + 2e \text{, м;}$$

– комбинированный способ движения:

$$l_X = 1{,}4R + 0{,}5C - \frac{2R \cdot B_{АГ}}{C - B_{АГ}} + 2e \text{ , м.}$$

5) Коэффициент рабочих ходов определяется по формуле

$$\varphi = \frac{L_P}{L_P + l_X}.$$

6) Определить чистое рабочее время смены из уравнения баланса времени смены:

$$T = T_P + t_X + t_1 + t_2 + t_Л \text{ , ч,}$$

$$T_P = T - t_X - t_1 - t_2 - t_Л \text{ , ч,}$$

где T =7 ч – общее время смены;

t_X – время, затраченное на повороты и холостые заезды, ч;

t_1 – время, затраченное на технологическое обслуживание, ч;

t_2 – время, затраченное на организационно техническое обслуживание проводимое, как правило, в начале смены (прил. 13), ч;

$t_Л$ – время, затраченное на личные нужды обслуживающего персонала, принимается равным 0,2 ч.

7) Время, необходимое на совершение одного цикла:

$$t_Ц = \frac{2 \cdot (L_P + l_X)}{500 \cdot V_P} + t_0, \text{ ч,}$$

где t_0 – время остановок, затраченное на технологическое обслуживание за цикл:

$$t_0 = t_T + t_{OC} \cdot z \text{ , ч,}$$

где z – количество остановок за цикл, необходимых для технологических обслуживаний;

t_{OC} – длительность одной остановки агрегата для циклического технологического обслуживания (заправка технологических емкостей или выгрузка из них), ч:

$$t_{OC} = 0{,}05 \cdot m \text{ , ч,}$$

где m – количество машин в агрегате, шт.;

t_T – время, затрачиваемое на технологическое обслуживание рабочих органов (очистка рабочих органов, проверка глубины обработки, высоты среза, нормы высева, величины потерь и т.д.) (прил. 14).

Для агрегатов, не имеющих технологических емкостей, время, затрачиваемое на циклическое технологическое обслуживание $t_0 = t_T$.

$$Z = \frac{2 \cdot L_P}{l_{OC}},$$

где l_{OC} – путь заполнения или опорожнения емкости, м:

$$l_{OC} = \frac{10^4 \cdot V \cdot \gamma \cdot \psi}{h \cdot B_{AГ}}, \text{ м},$$

где V – объем емкости на машине, м^3 (прил. 11);

γ – плотность материала, кг/м^3;

ψ – коэффициент использования емкости (0,94);

h – норма высева, кг/га;

$B_{AГ}$ – ширина захвата машины, м.

8) Количество циклов за смену:

$$n_Ц = \frac{T - t_2 - t_Л}{t_Ц}.$$

9) Время, затраченное на повороты и холостые заезды:

$$t_X = \frac{l_X}{500 \cdot V_P} \cdot n_Ц, \text{ ч.}$$

10) Время остановок агрегата для циклического технологического обслуживания:

$$t_1 = t_0 \cdot n_Ц, \text{ ч.}$$

11) Определить общий коэффициент использования времени смены:

$$\tau = \frac{T_p}{T}.$$

12) Производительность агрегата:

– за цикл:

$$W_Ц = \frac{2 \cdot L_P \cdot B_{AГ}}{10000}, \text{ га/цикл;}$$

– за час:

$$W = \frac{W_Ц}{t_Ц}, \text{ га/ч;}$$

– за смену:

$$W_{CM} = 0{,}1 \cdot B_{AГ} \cdot V_P \cdot T_P, \text{ га/см.}$$

Задание. Выберите оптимальный способ движения, определите основные кинематические характеристики трактора, рабочего участка и производительность агрегата.

Контрольные вопросы

1. Дайте характеристику основным способам движения МТА.
2. От чего зависит величина кинематических параметров рабочего участка?
3. Чем ограничена ширина загона?
4. Что характеризует коэффициент рабочих ходов МТА?
5. Что входит в уравнение баланса времени смены?
6. В каких случаях появляются длительность одной остановки агрегата для циклического технологического обслуживания?
7. Как определяют производительность агрегата за цикл, час и смену?

Практическое занятие №8
Методы экономической оценки показателей работы МТА

Цель занятия: освоить методику определения прямых эксплуатационных затрат при выполнении полевой с.-х. операции.

Оборудование, материалы, литература: справочный материал, калькулятор, методические указания.

Согласно ГОСТ 34393-2018 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки» *прямые эксплуатационные затраты* – сумма денежных средств на выполнение отдельной механизированной работы, включающая в себя оплату труда, стоимость горюче-смазочных материалов или электроэнергии, газа, затраты на ремонт и техническое обслуживание техники, амортизационные отчисления, затраты на вспомогательные технологические материалы.

1) Удельный расход топлива при работе агрегата:

$$\theta_{ГА} = \frac{Q_P \cdot T_P + Q_X \cdot t_X + Q_0 \cdot t_{OCT}}{W_{CM}}, \text{ кг/га,}$$

где Q_P – расход топлива двигателем трактора под нагрузкой, кг/ч:

$$Q_P = \frac{N_{eH} \cdot g_{eH}}{1000}, \text{ кг/ч,}$$

где g_{eH} – удельный расход топлива двигателем трактора (прил. 3), г/кВт·ч;

Q_X – расход топлива двигателем трактора при поворотах и холостых заездах, принимаемый 70-75% от расхода топлива двигателем трактора под нагрузкой, кг/ч;

Q_0 – расход топлива двигателем трактора при остановках, принимаемый 10% от расхода топлива двигателем трактора под нагрузкой, кг/ч;

T_P, t_X и t_{OCT} – соответственно чистое рабочее время; время, затрачиваемое на повороты и время остановок для технологического обслуживания.

$$t_{OCT} = t_1 + t_Л, \text{ ч.}$$

2) Определить затраты труда на единицу работы:

$$H_O = \frac{m_M + m_{BC}}{W}, \text{ чел·ч/га,}$$

где m_M и m_{BC} – соответственно количество механизаторов и вспомогательных рабочих, обслуживающих агрегат.

3) Определить прямые эксплуатационные затраты денежных средств, приходящиеся на выполнение единицы наработки, которые определяются по формуле

$$З_{ЭКС} = З_{O.T} + З_{TCM} + З_P + A + И_{B.M.}, \text{ руб./га,}$$

где $З_{O.T}$ – затраты средств на оплату труда обслуживающего персонала, руб./га;

$З_{TCM}$ – затраты средств на горюче-смазочные материалы, руб./га;

$З_P$ – затраты средств на ремонт и техническое обслуживание, руб./га;

A – амортизационные отчисления, руб./га;

$И_{В.М.}$ – издержки денежных средств на вспомогательные технологические материалы, руб./га.

4) Затраты средств на оплату труда обслуживающего персонала:

$$З_{О.Т} = \frac{\sum_{k=1}^{n_{МЕХ}} \lambda_k \cdot \tau_k \cdot К_З}{W_{СМ}}, \text{ руб./га,}$$

где λ_k – количество обслуживающего персонала *k*-й квалификации, чел.;

$n_{МЕХ}$ – число обслуживающего персонала, чел.;

τ – часовая оплата труда обслуживающего персонала *k*-й квалификации, руб./чел.-ч;

$К_З$ – коэффициент, учитывающий уровень социальных отчислений от зарплаты, регламентируемых законодательством;

5) Затраты денежных средств на оплату ГСМ:

$$З_{ТСМ} = \theta_{ГА} \cdot Ц_Т \cdot К_{СМ.М}, \text{ руб./га,}$$

где $Ц_Т$ – цена моторного топлива, руб./кг;

$К_{СМ.М}$ – коэффициент учета стоимости смазочных материалов.

6) Затраты средств на ремонт и техническое обслуживание техники по нормам отчислений от цены машины:

$$З_Р = \frac{\sum_{j=1}^{n_М} Б_{М_j} \cdot K_{P_j}}{W_{ЭКС}} \cdot 10^{-4}, \text{ руб./га,}$$

где $Б_{Mj}$ – цена *j*-й техники (без НДС), руб.;

$n_м$ – число техники, входящей в МТА;

K_{P_j} – значение отчислений на ремонт и техническое обслуживание от цены *j*-й техники на 100 ч ее работы, принятый в конкретном государстве, % (прил. 15);

$W_{ЭКС}$ – производительность цены *j*-й техники за 1 ч эксплуатационного времени, ч.

7) Амортизационные отчисления

$$A = \frac{1}{W_{СМ}} \sum_{j=1}^{n_М} \frac{Б_{М_j}}{R_{М_j}}, \text{ руб./га,}$$

где R_{M_j} – значение амортизационного ресурса *j*-й техники (прил. 15).

8) Издержки денежных средств на вспомогательные технологические материалы:

$$И_{В.М.} = \sum_{f=1}^{n_{В.М.}} g_f Ц_{В.М_f}, \text{ руб./га,}$$

где g_f – удельный расход *f*-го вспомогательного технологического материала, кг/ед. наработки;

$Ц_{В.М_f}$ – цена *f*-го вспомогательного технологического материала, руб.

$n_{В.М}$ – число наименований вспомогательного технологического материала, руб.

Задание. Рассчитать удельный расход топлива, затраты средств на оплату труда, на горюче-смазочные материалы, на ремонт и ТО и амортизацию.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение прямым эксплуатационным затратам.
2. Как определить прямые эксплуатационные затраты денежных средств?
3. Как найти затраты денежных средств на оплату ГСМ?
4. От чего зависят затраты средств на ремонт и техническое обслуживание техники?
5. Как рассчитать амортизационные отчисления?

Практическое занятие №9

Дифференцирование норм выработки и расхода топлива на полевых сельскохозяйственных работах

Цель занятия: освоить методику нормативного метода установления технически обоснованных норм выработки и расхода топлива МТА на выполнение полевых с.-х. операций.

Оборудование, материалы, литература: справочный материал, калькулятор, методические указания.

Нормы выработки и расхода топлива должны быть установлены с учетом конкретных природно-производственных условий предприятия.

1) Определить средний показатель класса полей по длине гона:

$$\delta_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \delta_i \cdot F_i}{\sum_{i=1}^{n} F_i},$$

где δ_i – коэффициент дифференцирования норм в зависимости от класса длины гона (прил. 16);

F_i – площади полей, соответствующие каждому классу длины гона, га (процент распределения в индивидуальном задании).

2) Определить класс полей по длине гона по полученному значению коэффициента дифференцирования норм (прил. 17).

3) Определить средневзвешенное значение удельного сопротивления почв:

$$k_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^{n} k_i \cdot F_i}{\sum_{i=1}^{n} F_i},$$

где k_i – удельное сопротивление почв участка (поля), кН/м^2;

F_i – площади полей (участков), по типу почв (песчаные, суглинистые, среднесуглинистые и т.д.), га (процент распределения в индивидуальном задании).

4) Определить средний показатель полей, участков по углу склона:

$$\delta_{\alpha CP} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \delta_{\alpha i} \cdot F_i}{\sum_{i=1}^{n} F_i},$$

где $\delta_{\alpha i}$ – коэффициенты дифференцирования норм выработки и расхода топлива в зависимости от угла склона (прил. 18);

F_i – площади полей с различным углом склона, га (процент распределения в индивидуальном задании).

5) По полученному значению $\delta_{\alpha CP}$ определить класс угла склона в соответствии с данными (прил. 19).

С помощью найденного класса угла склона определяем поправочный коэффициент *Кр*, учитывающий рельеф полей на пахотные и непахотные работы (прил. 20).

6) Определить поправочный коэффициент на каменистость:

$$K_K = \frac{\sum_{i=1}^{n} K_{Ki} \cdot F_i}{\sum_{i=1}^{n} F_i},$$

где K_K – коэффициенты дифференцирования норм в зависимости от степени каменистости (прил. 21);

F_i – площади полей с различным углом склона, га (процент распределения в индивидуальном задании).

7) Определить поправочный коэффициент в зависимости от наличия препятствий для пахотных и непахотных работ:

$$K_{ИЗ} = \frac{\sum_{i=1}^{n} K_{ИЗi} \cdot F_i}{\sum_{i=1}^{n} F_i},$$

где $K_{ИЗ}$ – коэффициенты дифференцирования норм в зависимости от количества препятствий (прил. 22);

F_i – площади полей с различным углом склона, га (процент распределения в индивидуальном задании).

8) Определить поправочные коэффициенты в зависимости от сложности конфигурации полей для пахотных и непахотных работ:

$$K_{СК} = \frac{\sum_{i=1}^{n} K_{СКi} \cdot F_i}{\sum_{i=1}^{n} F_i},$$

где $K_{СК}$ – коэффициенты дифференцирования норм в зависимости от сложности конфигурации (прил. 23);

F_i – площади полей с различным углом склона, га (процент распределения в индивидуальном задании).

9) Определить обобщенные коэффициенты на пахотные и непахотные работы:

$$K_{ОБЩ} = K_Р \cdot K_K \cdot K_{ИЗ} \cdot K_{СК} \cdot K_Т,$$

где K_T – коэффициент, учитывающий песчаные и супесчаные почвы (прил. 24).

Если по естественно-производственным условиям возникает необходимость дифференцировать нормы выработки и расхода топлива еще и по другим факторам, например, засоренности полей, то в выражения для комплексных (обобщенных) коэффициентов дифференцирования нормы вводят дополнительные коэффициенты.

Если же условия работы агрегата на данном участке (группе их) отличаются не всеми факторами, а только одним или двумя, то общий (комплексный) коэффициент дифференцирования норм определяют только по ним.

10) По обобщенным коэффициентам определить номер группы для установления норм выработки и расхода топлива на пахотные и непахотные работы (прил. 25, 26).

11) Зная номер группы и состав МТА при выполнении заданной полевой с.-х. операции, определить действительную норму выработки (га) и расход топлива (кг/га).

Задание. Определить нормы выработки и расхода топлива для заданной операции по индивидуальному заданию.

Контрольные вопросы

1. Для чего дифференцируют нормы выработки и расхода топлива на полевых с.-х. работах?
2. Как определить обобщенные коэффициенты на пахотные и непахотные работы?
3. Что такое паспорт поля?
4. Как определить средний показатель класса полей отделения по длине гона?
5. Как определяется действительная норма выработки и расход топлива МТА?

Практическое занятие №10

Разработка операционно-технологической карты полевой сельскохозяйственной операции

Цель занятия: освоить методику составления операционно технологической карты полевой с.-х. операции.

Оборудование, материалы, литература: справочный материал, калькулятор, методические указания.

Разработка операционно-технологической карты полевой сельскохозяйственной операции включает следующие этапы.

1) В разделе «Условия работы» операционно технологической карты записываются исходные данные для работы МТА.

2) Далее необходимо записать агротехнические требования на операцию, обязательно указав глубину обработки и ее допустимое отклонение от заданной. Для операций посев и внесение удобрений указать нормы высева и внесения.

3) В разделе «Состав и подготовка агрегатов» указывается марка трактора и с.-х. машины, а при необходимости марка сцепки. По результатам расчетов определяется радиус поворота агрегата и его длина выезда.

4) Раздел «Поле и подготовка поля к работе» должен содержать требования к подготовке рабочего участка для выполнения операции. Указывается откорректированная ширина поворотной полосы и рассчитанный коэффициент рабочих ходов.

5) Технико-экономические показатели работы МТА при выполнении операции записываются в раздел «Режим работы агрегата», так же в разделе необходимо указать основную и запасную передачи и рабочую скорость движения.

6) Контроль качества работы МТА осуществляется по бальной системе. В зависимости от технологической операции заполняется таблица в разделе. Так же необходимо указать схему взятия проб с рабочего участка при контроле качества.

7) В операционно-технологической карте должны быть представлены кинематические характеристики агрегата в виде схемы, с указанием центра агрегата, кинематической длины и ширины захвата.

Так же в карте необходимо представить схему способа движения МТА при выполнении операции.

Значение параметров	Схемы
1. Условия работы	Схема агрегата с указанием основных кинематических характеристик агрегата (центр агрегата, кинематическая длина трактора, машины, сцепки, агрегата, ширина захвата агрегата)
Площадь поля – га	
Длина, ширина поля – м	
Удельное сопротивление – Н/м	
Уклон – %	
2. Агротехнические требования	
Глубина обработки, подрезание сорняков, заделка растительных остатков, норма высева, норма внесения удобрений и т.д	
3. Состав и подготовка агрегатов	
Марка энергомашины –	
Марка СХМ –	
Количество СХМ –	
Марка сцепки –	
Длина выезда агрегата – м	
Минимальный радиус поворота – м	
4. Поле и подготовка поля к работе	Схема способа движения. (На схеме обозначить: ширину поворотной полосы, длину выезда агрегата, рабочую длину загона, ширину загона)
Способ движения –	
Способ поворота –	
Ширина поворотной полосы – м	
Коэффициент рабочих ходов –	
Подготовка поля к работе	
5. Режим работы агрегата	
Скорость движения – км/ч	
Передачи –	
Среднее время одного цикла – ч	
Производительность:	
–за цикл – га/цикл	
–за час – га/ч	
–за смену – га/см	
Погектарный расход топлива – кг/га	
Прямые эксплуатационные затраты – руб/га	

	Показатели	Нормативы	Баллы	Способ замера, инструмент	Схема взятия проб
6. Контроль качества работы					Схема взятия проб
	Оценка в баллах: 8...9 – отлично 6...7 – хорошо 4...5 – удовлетворительно менее 4 – неудовлетворительно				

Рис. 3. Операционно-технологическая карта

Задание. Составить операционно-технологическую карту по индивидуальному заданию.

Контрольные вопросы

1. Для чего составляется операционно-технологическая карта?
2. Какие разделы содержит операционно-технологическая карта?
3. Какие схемы должны быть представлены в операционно-технологической карте?
4. Как осуществляется контроль качества работы?
5. От чего зависит производительность МТА?

Практическое занятие №11
Оценка организации движения МТА при выполнении полевых сельскохозяйственных операций

Цель занятия: освоить методику оценки различных способов движения МТА при выполнении полевой сельскохозяйственной операции.

Оборудование, материалы, литература: справочный материал, калькулятор, методические указания.

Для сравнительной оценки эффективности применения различных способов движения разработан универсальный расчетно-экспериментальный метод определения основных эксплуатационно-технологических показателей работы МТА, к которым отнесены производительность, коэффициенты использования рабочих ходов и времени смены, удельный на 1 га расход топлива.

1) Определить производительность за 1 ч основного времени по выражению:

$$W_O = \frac{3600 F \upsilon_P}{S_{\sum P}}, \text{ га/ч},$$

где F – площадь рабочего участка, га;

υ_P – скорость при рабочем ходе, м/с;

$S_{\sum P}$ – суммарная длина рабочего хода при обработке рабочего участка, м.

2) Производительность за 1 ч технологического времени:

$$W_T = \frac{3600 F \upsilon_P \upsilon_X}{S_{\sum P} \upsilon_X + S_{\sum X} \upsilon_P}, \text{ га/ч},$$

где $S_{\sum X}$ – суммарная длина холостого хода рабочего участка, м;

υ_X – скорость при холостом ходе (поворотах), м/с.

3) Определить производительность за 1 ч сменного времени при 7-ми часовой смене:

$$W_{CM} = \frac{3600F\upsilon_P\upsilon_X(7 - T_{ДОП})}{7(S_{\sum P}\upsilon_X + S_{\sum X}\upsilon_P)}, \text{ га/ч},$$

где $T_{ДОП}$ – время, затраченное на ежесменное техническое обслуживание, регулировки, отдых, подготовку и окончание работ.

4) Рассчитать производительность за 1 ч эксплуатационного времени:

$$W_{ЭК} = \frac{3600F\upsilon_P\upsilon_X(7 - T_{ДОП})(7 - T_{ДОП} - t_{ТЕХН})}{49(S_{\sum P}\upsilon_X + S_{\sum X}\upsilon_P)}, \text{ га/ч},$$

где $t_{ТЕХН}$ – время на устранение технических неисправностей, ч.

5) Определить коэффициент использования времени смены через отношение производительностей агрегата:

$$\tau_{CM} = \frac{W_{CM}}{W_O}.$$

6) Общий расход топлива агрегата:

$$Q = 0{,}001(S_{\sum P}q_P + S_{\sum X}q_X), \text{ кг},$$

где q_P – удельный расход топлива на рабочем ходу, г/м;

q_X – удельный расход топлива на холостом ходу, г/м.

7) Удельный на 1 га расход топлива:

$$\theta = \frac{Q}{F}.$$

8) Результаты расчетов внести в таблицу 2 и дать оценку способам движения.

Таблица 2

Основные эксплуатационно-технологические показатели работы МТА при различной организации движения

Наименование показателей	Способ 1	Способ 2	Способ 3
1	2	3	4
Суммарная длина рабочих ходов, м			
Суммарная длина холостых ходов, м			
Коэффициент использования рабочих ходов			
Удельный расход топлива, кг/га			
Производительность за 1 ч основного времени, га/ч			

Окончание табл. 2

1	2	3	4
Производительность за 1 ч технологического времени, га/ч			
Производительность за 1 ч сменного времени, га/ч			
Производительность за 1 ч эксплуатационного времени, га/ч			
Коэффициент использования времени смены			

Задание. Рассчитать основные эксплуатационно-технологические показатели работы МТА при различных способах движения и дать их оценку.

Контрольные вопросы

1. По каким критериям выбирается оптимальный способ движения МТА?
2. Что относится к основным эксплуатационно-технологическим показателям?
3. Как найти производительность за 1 ч основного времени?
4. Что показывает коэффициент использования рабочих ходов?
5. Как определить коэффициент использования времени смены через производительность?

Практическое занятие №12
Определение рационального состава посевных агрегатов по технологическим параметрам для различных агропредприятий

Цель занятия: освоить методику определения рационального состава посевных агрегатов по технологическим параметрам для различных агропредприятий.

Оборудование, материалы, литература: справочный материал, калькулятор, методические указания.

Организация рационального машиноиспользования в растениеводстве АПК предполагает оптимальную комплектацию агропредприятия в зависимости от его уровня (величины площади возделываемых сельхозкультур) и направление деятельности (структуры посевных площадей) комплексами машин, выполняющих отдельные взаимосвязанные технологические процессы.

Любая технология, состоящая из отдельных операций, выполняемых отдельными сельхозмашинами, при научном обосновании

выбранных типов машин по количеству, будет эффективной в только в том случае, когда эти технологические операции осуществляются в рекомендуемые зональные (региональные) агротехнические сроки. Так, для раннего посева на одном поле, например зерновых, оптимальным агросроком является 5 дней, так как при более длительном севе на поле будут неравномерные всходы, развитие и созревание сельхозкультуры, что негативно повлияет на сроки ее уборки. Для поздних культур, например посев кукурузы после двухтрех культиваций, агросрок на одном поле должен быть минимальным – 3-4 дня, так как увеличение времени посева ухудшит динамику всходов и дальнейшее их развития из-за быстрой потери почвенной влаги от высоких весеннее-летних температур.

Для самой ответственной технологической операции в земледелии – посев сельскохозяйственных культур – выпускаются сеялки как для традиционных технологий – *D9*, так и энерго-влагосберегающих *No-Till, Mini-Till – Primera DMC*, так же сеялки для традиционных технологий *Citan*, для прямого посева – *Condor*.

В приложениях 27, 28 представлены основные технические характеристики зерновых сеялок, позволяющие подбирать агропредприятиям, при их модернизации, наиболее эффективные сеялки как по технологическим показателям, так и по обеспечению проведения посевных работ в агротехнические сроки в соответствии со структурой посевных площадей. При этом учитывается площадь полей и имеющиеся или приобретаемые энергетические средства.

В исследованиях по оптимизации машинно-тракторного парка агропредприятия, как крупного холдинга, так и средних и малых, за главный критерий берется ширина захвата сеялок (для различных) технологий, обеспечивающая определенную производительность сеялочного агрегата в зависимости от рабочих скоростей энергетических средств, в строго-рекомендуемые агротехнические сроки.

Для посева одной культуры, на одном поле рекомендован агросрок – 5 дней.

Для различных технологий и для различных по площади полей с определенными условиями по агротребованиям как к технологиям посева, так и агротехническим срокам, построена номограмма (рис. 4, 5) для подбора зерновых сеялок фирмы «AMAZONEN-Werke».

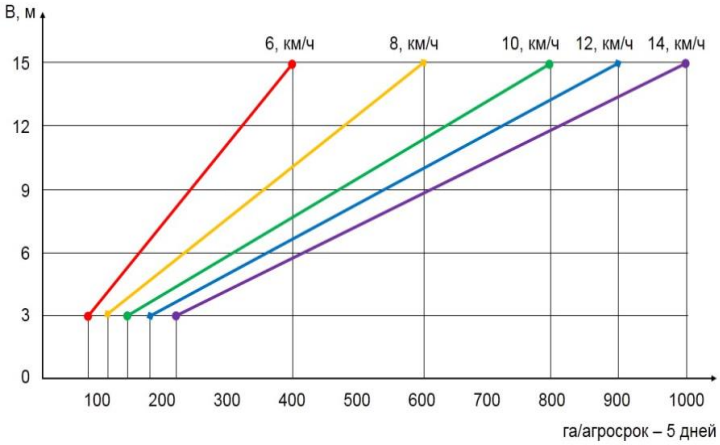


Рис. 4. Номограмма для подбора зерновых сеялок фирмы «AMAZONEN-Werke» по выработке за агросрок (5 дней)

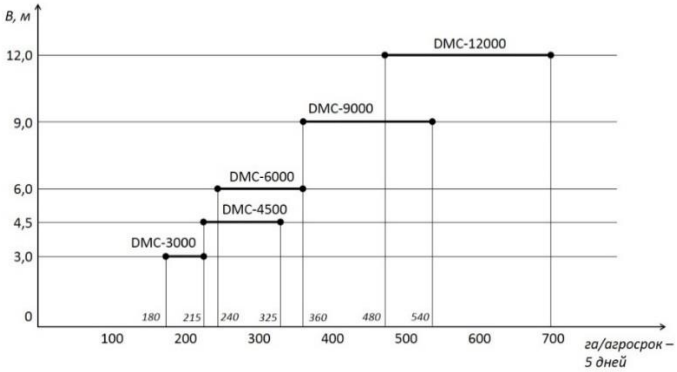


Рис. 5. Номограмма для подбора зерновых сеялок DMC по выработке за агросрок (5 дней)

При систематизации сеялок по традиционным технологиям показано, что сеялки *D9* шириной захвата от 3 до 12 м (с использованием сцепки при скоростях от 6 до 14 км/ч) могут за агросрок (5 дней для одной культуры и для одного поля) засеять от 90 до 840 га, сеялка *Citan* шириной захвата от 9 до 15 м на тех же скоростях и при тех же требованиях может засеять до 1000 га за агросрок. Сеялка для прямого посева *DMC Primera* шириной захвата от 3 до

12 м на тех же рабочих скоростях, обеспечиваемых соответствующей тракторной техникой, сможет засеять в агросрок по одной культуре до 840 га.

Задание. Определить рациональный состав посевных агрегатов по технологическим параметрам для заданного агропредприятия.

Контрольные вопросы

1. Что предполагает рациональная организация машиноиспользования?
2. Каковы оптимальные сроки посева с.-х. культур в Среднем Поволжье?
3. Что берется за критерий оптимизации по технологическим параметрам?
4. Чем ограничена рабочая скорость посевного агрегата?
5. Как осуществляется подбор рационального состава по номограмме?

Практическое занятие №13
Организация технического обслуживания тракторного парка

Цель занятия: освоить методику расчета производственной программы по техническому обслуживанию тракторного парка.

Оборудование, материалы, литература: справочный материал, калькулятор, методические указания.

Организация технического обслуживания так же подразумевает расчёт производственной программы по ТО. Для определения количества технических обслуживаний необходимо определить годовую наработку каждой марки трактора, которая определяется произведением количества тракторов данной марки на среднегодовую наработку одного трактора данной марки.

1) Количество КР определить усредненным методом по формуле

$$N_{КР} = \frac{Q_Г}{П_{КР}},$$

где $N_{КР}$ – количество капитальных ремонтов;

$Q_Г$ – планируемая годовая наработка трактора данной марки;

$П_{КР}$ – периодичность капитального ремонта.

2) Количество текущих ремонтов:

$$N_{TP} = \frac{Q_Г}{П_{TP}} - N_{KP},$$

где N_{KP} – количество капитальных ремонтов;

$П_{TP}$ – периодичность текущего ремонта, моточасы.

3) Количество технических обслуживаний №3:

$$N_{TO-3} = \frac{Q_Г}{П_{TO-3}} - N_{KP} - N_{TP},$$

где N_{TO-3} – количество технических обслуживаний №3;

$П_{TO-3}$ – периодичность ТО-3.

4) Количество технических обслуживаний №2:

$$N_{TO-2} = \frac{Q_Г}{П_{TO-2}} - N_{KP} - N_{TP} - N_{TO-3},$$

где N_{TO-2} – количество технических обслуживаний №2;

$П_{TO-2}$ – периодичность ТО-2.

5) Количество технических обслуживаний №1:

$$N_{TO-1} = \frac{Q_Г}{П_{TO-1}} - N_{KP} - N_{TP} - N_{TO-3} - N_{TO-2}.$$

Число сезонных технических обслуживаний (СТО) принимают равным удвоенному числу тракторов. Данные о количестве технических обслуживаний представить в виде таблицы 3.

Таблица 3

Количество технических обслуживаний и ремонтов

Марка трактора	Кол-во тракторов	КР	ТР	ТО-3	ТО-2	ТО-1

6) Расчет годовых объемов работ по ТО и ремонту провести на основании нормативов трудоемкостей:

$$T_{KP} = N_{KP} \cdot t_{KP},$$

где N_{KP} – количество капитальных ремонтов;

t_{KP} – трудоемкость капитального ремонта (прил. 26), чел.-ч.

7) Трудоемкость текущего ремонта:

$$T_{TP} = N_{KP} \cdot t_{TP},$$

где t_{TP} – трудоемкость текущего ремонта, чел.-ч.

8) Трудоемкость по выполнению работ ТО-1, ТО-2 и ТО-3 для каждой марки трактора определяется по формулам:

$$T_{TO-1} = N_{TO-1} \cdot t_{TO-1},$$
$$T_{TO-2} = N_{TO-2} \cdot t_{TO-2},$$
$$T_{TO-3} = N_{TO-3} \cdot t_{TO-3},$$

где N_{TO-1}, N_{TO-2}, N_{TO-3} – соответственно количество технических обслуживаний №1, №2, №3 каждой марки трактора;

t_{TO-1}, t_{TO-2}, t_{TO-3} – соответственно трудоемкость одного ТО-1, ТО-2, ТО-3 каждой марки трактора (прил. 26), чел.-ч.

Для удобства расчетов составить таблицу 4.

Таблица 4

Трудоемкость технических обслуживаний

Марка трактора	СТО		ТО-1		ТО-2		ТО-3	
	одного	общая	одного	общая	одного	общая	одного	общая
ИТОГО	-		-		-		-	

9) Годовой фонд рабочего времени установить по формуле

$$Ф_{ГОД} = Д_Р \cdot T_{СМ} \cdot \tau,$$

где $Д_Р$ – число рабочих дней в году;

$T_{СМ}$ – сменное время, ч;

τ – коэффициент использования рабочего времени смены τ =0,96.

$$Д_Р = Д_К - Д_В - Д_П - Д_О,$$

где $Д_К, Д_В, Д_П, Д_О$ – соответственно число календарных, выходных, праздничных дней и дней отпуска.

Количество мастеров-наладчиков определить из выражения

$$H = \frac{\sum T_{TO-1} + \sum T_{TO-2} + \sum T_{СТО} + \sum T_{УСТР}}{Ф_{ГОД}}, \text{ чел.}$$

Количество мастеров-диагностов определить из выражения

$$H = \frac{\sum T_{TO-3} + \sum T_{ТР}}{Ф_{ГОД}}, \text{ чел.}$$

Зная общие затраты труда на проведение ТО, можно рассчитать

среднегодовую потребность специализированных постов для технического обслуживания:

$$n_{ПОСТ} = \frac{T_{ГОД}}{Д_Р \cdot T_{СМ} \cdot H \cdot \tau}.$$

Задание. Определить количество технических обслуживаний тракторного парка, их трудоемкость выполнения, а так же число рабочих и постов ТО согласно индивидуальному заданию.

Контрольные вопросы

1. Какова периодичность технического обслуживания тракторов?
2. Как рассчитать количество ТО-3, ТО-2 и ТО-1?
3. Как определятся трудоемкость каждого вида ТО?
4. Что такое годовой фонд рабочего времени?
5. Какие виды ТО выполняет мастер-диагност, а какие мастер-наладчик?

Практическое занятие №14
Организация технического обслуживания автомобильного парка

Цель занятия: освоить методику расчета производственной программы по техническому обслуживанию автомобилей.

Оборудование, материалы, литература: справочный материал, калькулятор, методические указания.

Для конкретного предприятия значения периодичностей отличаются от нормативных, поэтому в общем случае периодичности ТО-1, ТО-2 и КР определяются с помощью коэффициентов, учитывающих категорию условий эксплуатации, модификацию подвижного состава и климатический район. Следовательно, необходимо выполнить корректировку норм пробега автомобиля до ТО-1, ТО-2 и КР. Периодичность ежедневного обслуживания (ЕО) принимается равной среднесуточному пробегу автомобиля $L_{СС}$.

1) Скорректировать нормативные периодичности ТО:

– периодичность ТО-1:

$$L_1 = L_1^H \cdot K_1 \cdot K_3, \text{ км};$$

– периодичность ТО-2:

$$L_2 = L_2^H \cdot K_1 \cdot K_3, \text{ км},$$

где L_1^H, L_2^H – нормативные периодичности ТО-1, ТО-2, км;

K_1 – коэффициент корректирования нормативов в зависимости от условий эксплуатации (прил. 27);

K_3 – коэффициент корректирования нормативов в зависимости от природно-климатический условий района (прил. 28).

2) Скорректировать периодичность до КР:

$$L_{KP} = L_{KP}^{H} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \text{ км},$$

где L_{KP}^{H} – норма пробега автомобиля до капитального ремонта, км;

K_2 – коэффициент корректирования нормативов в зависимости от модификаций подвижного состава и организации его работы (прил. 29).

3) Корректировка трудоёмкости производится по следующим формулам:

$$t_{ETO} = t_{ETO}^{H} \cdot K_2 \cdot K_5 \cdot K_M \text{ чел.-ч.};$$

$$t_1 = t_1^{H} \cdot K_2 \cdot K_5 \cdot K_M \text{ чел.-ч.},$$

$$t_2 = t_2^{H} \cdot K_2 \cdot K_5 \cdot K_M \text{ чел.-ч.};$$

$$t_{TP} = t_{TP}^{H} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_M, \text{ чел.-ч.},$$

где t_1^{H}, t_2^{H}, t_{TP}^{H} – исходные нормативы ЕТО, ТО-1, ТО-2 и ТР;

K_4 – коэффициент корректирования трудоемкости ТР в зависимости от пробега с начала эксплуатации (прил. 30);

K_5 – коэффициент корректирования трудоемкостей ТО и ТР в зависимости от количества обслуживающих автомобилей и количества совместных групп подвижного состава (прил. 31);

K_M – коэффициент учета степени сокращения нормативной трудоемкости.

4) Определить количество КР по формуле

$$N_{KP} = \frac{W}{L_{KP}},$$

где W – годовой пробег автомобиля данной марки, км;

L_{KP} – скорректированный пробег до капитального ремонта, км;

5) Рассчитать количество ТО-2:

$$N_{TO-2} = \frac{W}{L_2} - K_{KP},$$

где L_2 – периодичность технического обслуживания ТО-2.

6) Рассчитать количество ТО-1:

$$N_{TO-1} = \frac{W}{L_1} - K_{KP} - K_{TO-2},$$

где L_1 – скорректированная периодичность технического обслуживания ТО-1.

$$T_{TO-1} = N_{TO-1} \cdot t_{TO-1}, \text{ чел.-ч},$$

$$T_{TO-2} = N_{TO-2} \cdot t_{TO-2}, \text{ чел.-ч}.$$

7) Расчет количества текущих ремонтов произведем исходя из удельных затрат:

$$T_{TP} = \frac{W \cdot t_{TP}}{1000}, \text{ чел.-ч},$$

где t_{TP} – трудоемкость текущего ремонта, планируемая на 1000 км пробега, чел-ч.

Результаты расчетов свести в таблицу 5.

Таблица 5

Количество и трудоёмкость ТО и ТР

Марка автомобиля	Кол-во авто	Кол-во КР	Количество ТО, шт.			Трудоемкость, чел.-ч			
			ТО-2	ТО-1	ЕТО	ТР	ТО-2	ТО-1	ЕТО
ИТОГО									

8) Определить годовую трудоемкость работ:

$$T_{ГОД} = \sum T_{TO-1} + \sum T_{TO-2} + \sum T_{TP} + \sum T_{ETO}, \text{ чел.-ч}.$$

9) Количество рабочих определить из выражения

$$P = \frac{T_{ГОД}}{\Phi_{ГОД}}, \text{ чел.}$$

Задание. Определить количество технических обслуживаний автомобилей, их трудоемкость выполнения, а так же число рабочих и постов ТО согласно индивидуальному заданию.

Контрольные вопросы

1. Какова периодичность технического обслуживания автомобилей?
2. Как корректируется периодичность ТО автомобилей?
3. Как корректируется трудоемкость ТО автомобилей?
4. Как рассчитывается трудоемкость ТР автомобилей?
5. Каким отношением определяется количество рабочих?

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Рекомендуемые скорости движения машинно-тракторных агрегатов

Наименование производственного процесса	Рекомендуемая скорость, км/ч
Вспашка обычными плугами	4-8
Вспашка скоростными плугами	6-10
Глубокое рыхление плоскорезами	7-11
Поверхностная обработка плоскорезами	7-12
Культивация пара	7-10
Лущение дисковыми лущильниками	6-10
Боронование зубовыми боронами	5-10
Прикатывание катками	7-12
Посев зерновыми сеялками	7-12
Посев сеялками-культиваторами	5-7
Посев свеклы	6-9
Посадка картофеля	4-6
Посев кукурузы	6-9
Разбрасывание минеральных удобрений	9-15
Разбрасывание органических удобрений	7-9
Междурядная культивация пропашных: – первая – вторая и последующие	 4-9 7,5-10
Рыхление междурядий сахарной свеклы и окучивание картофеля	4-6
Косьба зерновых рядковыми жатками в валки	6-10
Подбор валков	5-8
Прямое комбайнирование	4-8
Уборка кукурузы	5-9
Уборка сахарной свеклы комбайном	2,5-8,5
Уборка картофеля комбайном	1,5-4,5
Кошение трав на сено	5-10
Уборка трав косилками-измельчителями	5-10
Подбор и прессование сена и соломы	5-9
Снегозадержание	6-10

Приложение 2

Передаточные числа трансмиссии тракторов

Передача	Марка трактора							
	К-744 Р		К-744 Р1		К-744 Р2		К-744 Р3	
	V_T	i_T	V_T	i_T	V_T	i_T	V_T	i_T
1	5,08	126,11	5,08	126,11	5,08	126,11	5,08	126,11
2	6,15	104,01	6,15	104,01	6,15	104,01	6,15	104,01
3	7,43	86,12	7,43	86,12	7,43	86,12	7,43	86,12
4	8,29	77,17	8,29	77,17	8,29	77,17	8,29	77,17
5	8,92	71,73	8,92	71,73	8,92	71,73	8,92	71,73
6	10,05	63,67	10,05	63,67	10,05	63,67	10,05	63,67
7	12,13	52,79	12,13	52,79	12,13	52,79	12,13	52,79
8	14,60	43,85	14,60	43,85	14,60	43,85	14,60	43,85
9	10,90	58,75	10,90	58,75	10,90	58,75	10,90	58,75
10	13,22	48,41	13,22	48,41	13,22	48,41	13,22	48,41
11	15,94	40,16	15,94	40,16	15,94	40,16	15,94	40,16
12	19,21	33,32	19,21	33,32	19,21	33,32	19,21	33,32
13	17,89	35,78	17,89	35,78	17,89	35,78	17,89	35,78
14	21,73	29,46	21,73	29,46	21,73	29,46	21,73	29,46
15	26,07	24,55	26,07	24,55	26,07	24,55	26,07	24,55
16	31,47	20,34	31,47	20,34	31,47	20,34	31,47	20,34

Продолжение прил. 2

Передача	Марка трактора							
	К-701		МТЗ-82.1		МТЗ-900		МТЗ-1221	
	V_T	i_T	V_T	i_T	V_T	i_T	V_T	i_T
1	2,92	197,98	2,47	241,95	2,29	261,42	1,83	311,2
2	3,54	163,46	4,21	142,10	2,46	242,61	1,96	291,85
3	4,27	135,60	6,99	85,55	2,67	223,88	2,09	272,57
4	5,14	112,65	8,79	68,00	2,91	205,15	2,25	253,28
5	7,13	81,12	10,41	57,43	3,21	186,42	2,44	233,99
6	8,65	66,93	12,19	49,06	3,57	167,69	2,66	214,70
7	10,42	55,54	14,97	39,94	4,01	148,96	2,92	195,41
8	12,56	46,08	17,73	33,73	4,59	130,23	3,24	176,12
9	7,92	73,06	32,98	18,13	5,36	111,50	3,64	156,83
10	9,60	60,27	0,73	816,58	6,45	92,77	4,15	137,54
11	11,59	49,93	1,25	479,59	8,08	74,04	4,83	118,25
12	13,94	41,52	-	-	10,81	55,31	5,77	98,96
13	19,44	29,76	-	-	16,35	36,58	7,16	79,67
14	23,59	24,53	-	-	33,50	17,85	9,45	60,38
15	28,48	20,32	-	-	-	-	13,89	41,09
16	34,06	16,99	-	-	-	-	26,18	21,8

Продолжение прил. 2

Передача	Марка трактора							
	МТЗ-1523		ЛТЗ-155		ХТЗ-17421		Т-151К	
	V_T	i_T	V_T	i_T	V_T	i_T	V_T	i_T
1	1,58	360,61	1,83	282,18	3,05	186,74	3,20	177,70
2	1,69	337,81	2,01	257,00	3,31	171,73	3,48	163,53
3	1,81	315,06	2,15	239,80	3,63	156,76	3,81	149,41
4	1,95	292,31	2,32	222,60	4,01	141,79	4,20	135,29
5	2,12	269,56	2,51	205,40	4,48	126,82	4,69	121,17
6	2,31	246,81	2,74	188,20	5,09	111,85	5,31	107,05
7	2,55	224,06	3,02	171,00	5,87	96,88	6,12	92,93
8	2,84	201,31	3,36	153,80	6,94	81,91	7,22	78,81
9	3,20	178,56	3,78	136,60	8,50	66,94	8,79	64,69
10	3,66	155,81	4,32	119,40	10,94	51,97	11,25	50,57
11	4,29	133,06	5,05	102,20	15,37	37,00	15,60	36,45
12	5,17	110,31	6,08	85,00	25,82	22,03	25,47	22,33
13	6,52	87,56	7,62	67,80	-	-	-	-
14	8,81	64,81	10,21	50,60	-	-	-	-
15	13,57	42,06	15,46	33,40	-	-	-	-
16	29,56	19,31	31,88	16,20	-	-	-	-

Окончание прил. 2

Передача	Марка трактора							
	ХТЗ-150-05-09		ВТ-100Д		ВТ-150		Т-4А.01	
	V_T	i_T	V_T	i_T	V_T	i_T	V_T	i_T
1	4,26	70,99	3,60	65,55	3,80	67,48	2,22	109,70
2	4,69	64,55	3,93	60,05	4,15	61,72	2,43	100,37
3	5,20	58,15	4,33	54,56	4,58	56,02	2,67	91,09
4	5,84	51,75	4,81	49,07	5,10	50,32	2,98	81,81
5	6,67	45,35	5,42	43,58	5,75	44,62	3,36	72,53
6	7,76	38,95	6,20	38,09	6,59	38,92	3,85	63,25
7	9,29	32,55	7,25	32,60	7,72	33,22	4,51	53,97
8	11,57	26,15	8,71	27,11	9,32	27,52	5,45	44,69
9	15,31	19,75	10,92	21,62	11,75	21,82	6,88	35,41
10	-	-	14,64	16,13	15,91	16,12	9,32	26,13

Приложение 3

Основные технические характеристики тракторов

Показатели	Марка трактора			
	К-744 Р	К-744 Р1	К-744 Р2	К-744 Р3
1. Марка двигателя	ЯМЗ-238НД4	ЯМЗ-238НД5	ЯМЗ-8481.10	ЯМЗ-8481.10-02
2. Тяговый класс	5	5	5	8
3. N_{eH}, кВт	184	220	257	287
4. n_H, мин$^{-1}$	1900	1900	1900	1900
5. g_{eH}, г/кВт·ч	220	220	220	231
6. G_{mp}, кг	15060	15060	15680	17500
7. Габариты	7,25×2,85	7,25×2,85	7,25×2,83	7,35×4,65
8. r_0, м	0,332	0,332	0,332	0,332
9. h, м	0,720	0,720	0,720	0,720

Продолжение прил. 3

Показатели	Марка трактора			
	К-701	МТЗ-82.1	МТЗ-900	МТЗ-1221
1. Марка двигателя	ЯМЗ-238	Д-243	Д-243	260.2
2. Тяговый класс	5	1,4	1,4	2
3. N_{eH}, кВт	220	60	60	96
4. n_H, мин$^{-1}$	1900	2200	2200	2100
5. g_{eH}, г/кВт·ч	225	220	220	228
6. G_{mp}, кг	12500	3900	3720	4640
7. Габариты	7,40×2,88	3,93×1,97	3,83×1,97	4,6×2,25
8. r_0, м	0,332	0,483	0,483	0,483
9. h, м	0,610	0,305	0,305	0,305

Продолжение прил. 3

Показатели	Марка трактора			
	МТЗ-1523	ЛТЗ-155	ХТЗ-17421	Т-151К
1. Марка двигателя	260.1TURBO	Д-442-47	СМД-31Т	СМД-63
2. Тяговый класс	2	2	3	3
3. N_{eH}, кВт	114	88	147	128,7
4. n_H, мин$^{-1}$	2100	1850	2100	2100
5. g_{eH}, г/кВт·ч	228	220	241	237
6. G_{mp}, кг	5000	5600	9040	8980
7. Габариты	4,75×2,25	4,67×2,35	6,58×2,46	6,13×2,48
8. r_0, м	0,483	0,483	0,305	0,305
9. h, м	0,305	0,330	0,530	0,530

Окончание прил. 3

Показатели	Марка трактора			
	ХТЗ-150-05-09	ВТ-100Д	ВТ-150	Т-4А.01
1. Марка двигателя	ЯМЗ-236Д3	Д-442-24	Д-442-24ВИ	А-01МСИ
2. Тяговый класс	3	3	3	4
3. N_{eH}, кВт	128,7	88	110	95,6
4. n_H, мин$^{-1}$	2100	1750	1900	1700
5. g_{eH}, г/кВт·ч	220	220	220	220
6. G_{mp}, кг	8150	7580	7720	8870
7. Габариты	5,00×1,88	5,33×1,85	5,40×1,85	4,65×1,95
8. r_0, м	0,382	0,358	0,358	0,380
9. h, м	-	-	-	-

Приложение 4

Коэффициенты сцепления трактора с почвой (μ) и сопротивления перекатыванию (качению) тракторов (f)

Условия движения	Трактор			
	Колёсный		Гусеничный	
	μ	f	μ	f
Шоссейная дорога	0,6-0,9	0,014-0,04	1,0	0,01
Сухая укатанная грунтовая дорога	0,6-0,8	0,03-0,05	0,9-1,0	0,05-0,07
Грунтовая неровная дорога	-	0,05-0,10	-	-
Снежная укатанная дорога	0,3	0,03-0,05	0,6	0,06-0,07
Целина, залежь, плотная дернина, сильно уплотненная стерня	0,8-0,9	0,03-0,06	1,0	0,05-0,07
Стерня нормальной влажности, поле из-под кукурузы	0,7-0,8	0,06-0,08	0,9-1,0	0,07-0,09
Влажная стерня	0,6-0,7	0,08-0,10	0,9	0,08-0,11
Слежавшаяся пашня	0,5-0,6	0,10-0,12	0,7	0,07-0,08
Подготовленное под посев поле, чистый пар	0,5-0,7	0,16-0,20	0,6-0,7	0,10-0,12
Свежевспаханное поле	0,4-0,5	0,18-0,22	0,6	0,12-0,14
Влажный луг	0,5-0,7	0,08-0,10	0,6-0,8	0,09-0,11
Песок влажный	0,4	0,08-0,10	0,5	-
Песок сухой	0,3	0,15-0,20	0,4	0,10-0,12
Глубокая грязь	0,1	-	0,3-0,5	0,10-0,25
Глубокий снег	-	0,24-0,28	-	0,09-0,12

Приложение 5

Буксование ведущего аппарата трактора, %, на различных передачах в зависимости агрофона

Агрофон	Гусеничные тракторы				Колёсные тракторы			
	Передачи							
	1	2	3	4	1	2	3	4
Культиви-рованное поле	5,0-6,0	3,5-4,5	2,0-3,0	1,5-2,0	25,0-30,0	18,0-20,0	13,0-15,0	10,0-12,0
Стерня	3,0-4,0	2,0-3,0	1,2-1,6	0,5-1,0	18,0-22,0	12,0-15,0	9,0-11,0	6,0-8,0
Залежь	2,0-3,0	1,5-2,0	1,0-1,2	0,6-0,8	14,0-16,0	10,0-12,0	6,0-8,0	3,0-5,0

Приложение 6

Удельные сопротивления сельскохозяйственных машин

Наименование операции	Сельскохозяйственная машина	Удельное сопротивление *k*, кН/м
1	2	3
Боронование	Борона зубовая тяжёлая	0,40-0,70
	Борона зубовая средняя	0,30-0,60
	Борона сетчатая и шлейф борона	0,45-0,65
	Борона пружинная и лапчатая	1,00-1,8
	Борона дисковая	1,60-2,20
	Борона игольчатая	0,45-0,80
Сплошная культивация	Культиватор штанговый	1,60-2,60
	Культиватор паровой (6-8 см)	1,60-3,00
	Культиватор паровой (10-12 см)	1,20-1,60
Глубокое рыхление	Культиватор-глубокорыхлитель	8,00-13,00
Обработка плоскорезами	Культиватор-плоскорез	4,00-6,00
Лущение стерни	Лущильник дисковый (8-10 см)	1,20-2,60
	Лущильник лемешный (10-14 см)	2,50-6,00
	Лущильник лемешный (14-18 см)	6,00-10,00
Рядовой посев зерновых культур	Сеялка дисковая	1,10-1,60
	Сеялка узкорядная	1,50-2,50
	Сеялка-лущильник	1,20-2,80
	Сеялка зернопрессовая	1,20-1,80
Посев кукурузы	Сеялка кукурузная	1,00-1,40
Прикатывание	Каток гладкий водоналивной	0,55-1,20
	Каток кольчато-шпоровый	0,60-1,00
Междурядная обработка	Культиватор со стрельчатыми лапами и бритвами	1,20-1,80

Окончание прил. 6

1	2	3
Рыхление междурядий кукурузы и подсолнечника	Культиватор-растениепитатель	1,30-1,60
Кошение трав	Косилка с приводом от ВОМ	0,70-1,10
	Косилка от ходовых колёс	0,90-1,40
	Косилка-измельчитель	0,80-1,30
Сгребание трав	Грабли поперечные	0,50-0,75
	Грабли-валкообразователи	0,70-0,90
Кошение зерновых культур	Жатка рядковая прицепная	1,20-1,50
Уборка кукурузы	Кукурузоуборочный комбайн	1,50-1,70
	Силосоуборочный комбайн	1,20-1,60
Уборка корнеплодов	Свеклоподъёмник	3,00-4,00
	Копатель корнеплодов	6,50-7,50
Дискование пашни	Дисковая борона	4,00-8,00
Разбрасывание минеральных удобрений	Туковая сеялка	0,30-0,40
Опрыскивание	Опрыскиватель навесной	0,15-0,20
	Гербицидно-аммиачная машина	0,10-0,20
Подбор сена	Пресс-подборщик	0,40-0,50
	Подборщик-копнитель	0,40-0,50
	Подборщик-стогообразователь	1,20-1,40
	Подборщик-укладчик	0,70-0,80
Снегозадержание	Снегопах	5,30-5,50

Приложение 7

Машины для механизации процессов в растениеводстве

Наименование машины	Марка	Ширина захвата, м	Масса, кг
1	2	3	4
Плуги	ПП-9-40	До 3,7	2160
	ПП-9-35	3,15	3650
	ПРУН-8-45	3,60	1974
	ПЛП-6-35	2,1	1230
	ПЛ-5-40	1,75-2,25	1630
	ПНУ-8-40	3,2	2400
	ПЛН-5-40	2,0	905
	ПН-3-35	1,05	445
Плоскорезы-глубокорыхлители	ПГ-3С	3,1	950
	ПГ-2С	2,1	606
	ПГН-5	5,25	1650
	ПГН-3	3,18	1277

Продолжение прил. 7

1	2	3	4
Культиваторы	КПШ-20	20	3500
	КПШ-9	9,5	2800
	КШУ-12	8	2950
	КШУ-4	4	760
	КСТ-2,2	2,2	975
	КПЭ-3,8Г	3,91	830
	КПС-4	4	927
	КСО-4	4	1040
Культиваторы для междурядной обработки почвы	КРН-4,2Б	4,2	1190
	КРН-5,6Б	5,6	1530
	КРН-8,4	8,4	1597
Бороны	БДТ-10	10	4100
	БДТ-7А	7	4587
	БДТ-5,2	5,2	4150
	БДН-3,0	3,0	684
	БЗСС-1,0	0,98	37,8
	БЗТС-1,0	0,98	43,7
	БМШ-20	20	8600
	БМШ-15	15	6800
Катки	КВП-3,8	7,2-8,2	680
	ЗККШ-6	6,1	1950
	КЗК-10	10,0	4300
	ЗКВГ-1,4	4,0	790
Лущильники	ЛДГ-20	20	5430
	ЛДГ-15А	15	3150
	ЛДГ-10А	10	2480
	ЛДГ-5А	5,5-6,2	1200
	ППЛ-10-25	2,5	1265
	ППЛ-5-25	1,25	455
Машины для внесения минеральных удобрений	МВУ-5	7-17	2170
	РДУ-1,5	10-28	450
	РУН-0,5Н	8-24	200
	МТТ-4У	16-24	2550
	РЖТ-4М	11-12	2220
Машины для внесения органических удобрений	ПРТ-16М	7-8	5325
	ПРТ-10	6,5-7	3970
	ПРТ-7А	5-8	2850
	ПРТ-11	5-8	4070
	РОУ-6М	4-8	2170
	РУН-15Б	35,0	1750

Окончание прил. 7

1	2	3	4
Опрыскиватели	ОП-2000	16-24	1020
	ОП-22	22,6	850
	ОМП-2001	18	1200
Снегопах-валкователь	СВШ-7-01	7,2	2900
Снегопах-валкообразователь	СВУ-2,6А	2,6	850
Сеялка зернотуковая	СЗ-3,6А	3,6	1380
Сеялка зернотуковая прессовая	СЗП-3,6А	3,6	1839
Сеялка зернотукотравяная	СЗТ-3,6А	3,6	2370
Сеялки-культиваторы зернотуковые	СЗС-12 СРС-6	12,3 6,15	8300 4334
Сеялка кукурузная пневматическая	СУПН-8А	5,6	1215

Приложение 8

Характеристика сцепок

Марка сцепки	Фронт сцепки, м	Наибольшая ширина захвата, м	Масса сцепки, Н	Назначение
С-11У (колеса металлические)	14,4	11,0	7000	Бороны БЗСС-1,0, БЗТС-1,0 Катки: ЗККШ-6А, ЗКВГ-1,4
СГ-21Б (колеса пневматические)	18,0	21,6	10300	
СП-11А (колеса пневматические)	7,0	10,8	11400	Культиваторы: КПС-4, КПЭ и т. д. Сеялки: СЗ-3,6, СЗП-3,6 и все их модификации Бороны: БИГ-3, БЗСС-1,0, БЗТС-1,0 Катки: ЗККШ-6А, ЗКВГ-1,4
СП-16А (колеса пневматические)	13,5	16,8	23600	

Приложение 9

Удельные сопротивления плугов

Тип почвы	Удельное сопротивление k_o, Н/см^2
Легкие	2,0-3,5
Средние	3,5-5,5
Тяжелые	5,5-8,0
Весьма тяжелые	свыше 8,00

Приложение 10

Кинематические характеристики тракторов и сельскохозяйственных машин

Наименование машин	Марка	Кинематическая длина, м	Марка	Кинематическая длина, м
1	2	3	4	5
Тракторы	К-701	3,20	К-744 Р	3,5
	К-744 Р1, Р2, Р3	3,7	МТЗ-592	1,95
	МТЗ-552	1,95	МТЗ-952	1,95
	МТЗ-900	1,95	МТЗ-1221	2,57
	МТЗ-1025	2,1	МТЗ-1523	2,35
	Т-25А	0,85	ЛТЗ-55	1,2
	Т-45А	1,1	Т-151К	2,8
	ЛТЗ-155	2,6	ХТЗ-17421	3,0
	ХТЗ-150К	2,8	ХТЗ-150-05	2,5
	ХТЗ-150-03	2,5	ВТ-100Д	2,6
	ДТ-75Н	2,2	Т-70СМ	1,7
	ВТ-150	2,7	Т-4А-01	2,3
Плуги	ПТК-9-35	3,600	ПЛП-6-35	2,570
	ПЛН-5-35	2,050	ПЛ-5-35	2,500
	ПЛН-4-35	1,780	ПН-4-40	1,980
	ПЛН-3-35	1,420		
Глубокорых-лители	КПГ-250	1,76	КПГ-2-150	1,73
	КПГ-2.2	4,35		
Лущильники дисковые	ЛДГ-20	21,67	ЛДГ-15	10,42
	ЛДГ-10	7,40	ЛДГ-5	4,30
Лущильники лемешные	ППЛ-10-25	6,40	ППЛ-5-25	2,88
Бороны	БДН-3.0	1,90	БИГ-3А	3,50
	БДТ-7.0	4,38	БДН-10	11,8
	БЗТС-1.0	1,35	БЗСС-1.0	1,35
Катки	ЗККШ-6А	7,80	СКГ-2.0	3,30

Окончание прил. 10

1	2	3	4	5
Культиваторы	КПС-4	2,67	КПЭ-3.8А	3,92
	КПШ-9	7,30	КПШ-5	1,93
	КПУ-400	1,55	КРН-4.2	1,67
	КРН-5.6	2,10	КПГ-250	1,76
	КПГ-2.2	4,35	КПГ-2-150	1,73
Сцепки	СП-16	5,0	СП-11У	4,5
	СП-11	7,54	СГ-21	5,6
	СН-75	3,3		

Приложение 11

Кинематические характеристики посевных машин и разбрасывателей удобрений

Наименование машин	Марка	Кинематическая длина, м	Вместимость бункера, дм^3
Сеялки	СЗ-3.6	3,50	690
	СЗП-3.6	3,98	690
	СЗТ-3.6	3,70	690
	СЗП-12	9,50	2223
	СЗП-8	7,40	1482
	СЗС-2.1	3,90	540
	СЗС-6	4,50	825
	СПЧ-6	5,20	240
	СУПН-8	5,70	260
	СКП-6	4,50	192
Разбрасыватели минеральных удобрений	РТТ-4,2	3,90	-
	1-РМГ-4	5,25	-
	РУМ-8	5,99	-
	РМС-6	5,40	-
	РУМ-5	5,50	-
Разбрасыватели органических удобрений	ПРТ-16	5,95	-

Приложение 12

Радиусы поворотов тракторов

Марка трактора	Радиус поворота, м	Марка трактора	Радиус поворота, м
К-701	7,2	Т-402.01	1,7
К-744 Р	7,2	ДТ-75Н	2,5
К-744 Р1	7,9	Т-30-69	3,7
К-744 Р2	7,9	Т-45А	4,5
К-744 Р3	7,8	ЛТЗ-55	2,8
МТЗ-552	4,1	ЛТЗ-155	4,5
МТЗ-592	4,1	Т-151К	6,5
МТЗ-900	4,1	ХТЗ-150К	6,5
МТЗ-952	4,1	ХТЗ-17421	6,6
МТЗ-1025	4,1	ХТЗ-150-03	2,35
МТЗ-1221	5,3	ХТЗ-150-05	2,35
МТЗ-1523	5,5	ВТ-100Д	3,2
МТЗ-82.1	4,2	ВТ-150	3,2
Т-4А-01	1,7	Т-70СМ	2,5

Приложение 13

Примерные затраты времени
на проведение ежесменных технических обслуживаний

Наименование машины	Марка машины	Время, ч
1	2	3
Тракторы	К-701	0,88
	К-744 Р	0,91
	К-744 Р2	0,91
	К-744 Р3	0,93
	МТЗ-552	0,76
	МТЗ-592	0,76
	МТЗ-900	0,78
	МТЗ-952	0,78
	МТЗ-1025	0,82
	МТЗ-1221	0,83
	МТЗ-1523	0,87
	МТЗ-82.1	0,57
	ЛТЗ-55	0,65
	ЛТЗ-155	0,78
	Т-151К	0,93
	ХТЗ-150К	0,93
	ХТЗ-17421	0,9
	ХТЗ-150-03	0,69
	ХТЗ-150-05	0,69
	ДТ-75Н	0,67

Продолжение прил. 13

1	2	3
	ВТ-100Д	0,72
	ВТ-150	0,75
	Т-4А-01	0,76
	Т-402.01	0,76
Плуги	ПН-3-40, ПНЯ-2-50	0,12
	ПН-4-35	0,12
	ПЛН-5-35	0,12
	ППН-50, ПВН-3-35, ПТК-9-35	0,12
Глубокорыхлитель навесной	РН-80Б	0,20
Лущильник дисковый	ЛДГ-10, ЛДГ-15	0,20
Лущильник лемешный	ППЛ-5-25	0,10
Борона	БДН-3	0,10
	БДТ-3	0,10
	БДСТ-2,5	0,10
	БИГ-3	0,10
Каток кольчато-шпоровый	ЗККШ-6, ЗКК-6	0,10
Культиватор	КПС-4, 4КУ-4	0,25
	КРН-4,2, КФ-5,4	0,50
	КРН-28А, КРН-,8МО	0,10
	КРН-5,6	0,36
	КРШ-8,1	-
	КРХ-5,4	0,22
Плоскорез-глубокорыхлитель	КПГ-250	0,10
Сеялка зерновая	СЗ-3,6, СЗУ-3,6	0,15
	СЗА-3,6, СЗТ-3,6, СЗС-2,1	0,15
	СЗП-24	0,40
Сеялка свекловичная	ССТ-12А	0,25
	ССТ-18А	0,25
Сеялка кукурузная	СКНК-8	0,40
	СБК-4	0,25
	СКТН-6А	0,25
Сеялка универсальная	СПЧ-6М	0,25
Картофелесажалка	СКС-4, СН-4Б	-
Опрыскиватель	СН-400	0,30
	ОП-1600, ОВТ-1	0,30
	ПОЧ, ОЗГ-120	0,30
	ОВХ-14	0,30
Косилка тракторная	-	0,10
Жатка	ЖВН-6, ЖНС-6-12	0,20
Жатка рядковая	-	0,50
Грабли тракторные	-	0,13
Пресс-подборщик	ППВ-1,6, ПСБ-1,6	0,65

Окончание прил. 13

1	2	3
Подборщик-копнитель	ПКС-2М	0,32
Картофелекопатель	КТН-2Б	0,30
	Z-609/02	0,20
Машина для внесения органических удобрений	РОУ-5	0,55
	ПРТ-10	0,30
	ПРТ-16	0,38
Машина для внесения жидких органических удобрений	РЖТ-4	0,23
	РЖТ-8	0,30
	РЖТ-16	0,30
Картофелекопатель	УКВ-2	0,40
	КСТ-1,4	0,30

Приложение 14

Примерная продолжительность остановки для технологического обслуживания

Наименование операции	Продолжительность остановки, ч
Вспашка	0,01
Боронование	0,04
Сплошная культивация	0,03
Междурядная обработка	0,03
Лущение	0,02
Кошение зерновых в валки	0,04
Подбор и обмолот, прямое комбайнирование	0,08
Уборка силосных культур	0,02

Приложение 15

Значения отчислений на ремонт и техническое обслуживание, амортизационного ресурса техники

Наименование техники	Значение отчислений на ремонт и техническое обслуживание от цены техники на 100 ч работы, %	Амортизационный ресурс, ч
1	2	3
Тракторы колесные кл. 5,0 т	0,92	10120
Тракторы гусеничные кл. 4,0 т	1,14	8096
Тракторы колесные кл. 3 т	1,14	10120
Тракторы гусеничные кл. 3 т	1,26	9108
Тракторы универсально-пропашные кл. 1,4, 2,0	0,98	11132
Плуги отвальные общего назначения	9,30	1720
Бороны зубовые	22,22	450

Продолжение прил. 15

1	2	3
Бороны дисковые	3,89	1260
Лущильники дисковые	5,83	840
Мотыги ротационные	7,69	455
Катки	4,17	960
Культиваторы: - для сплошной обработки почвы	9,41	1190
- глубокорыхлители	11,03	1015
- плоскорезы	8,21	1365
- растениепитатели, окучники	4,62	1365
Сеялки зерновые и травяные	7,78	819
Сеялки точного высева (свекловичные)	10,0	364
Сеялки кукурузные	6,67	480
Картофелесажалки	8,57	490
Сеялки туковые	3,33	1680
Комбинированные агрегаты для предпосевной обработки почвы с одновременным посевом зерновых	7,37	665
Комбинированные агрегаты для основной обработки почвы	10,53	665
Зерноуборочные комбайны	2,43	2548
Жатки зерновые и зернобобовые	10,58	774
Косилки тракторные	4,38	1120
Грабли тракторные	5,74	732
Волокуши: - тросовые	5,19	810
- толкающие	3,89	1080
Пресс-подборщики	5,83	720
Жатки рядковые	12,00	525
Косилки тракторные	4,67	750
Картофелеуборочные комбайны	6,67	1260
Кукурузоуборочные комбайны	12,00	800
Силосоуборочные комбайны	8,00	1200
Протравливатели семян	3,67	1500
Опрыскиватели по борьбе с вредителями и болезнями: - полевых культур	9,17	600
- садов	4,40	1250
Универсальные опрыскиватели	3,44	1600
Машины для химической защиты	8,80	750
Машины для внесения удобрений:		
- минеральных	16,00	375
- органических	4,00	1250

Окончание прил. 15

1	2	3
Зернопогрузчики	1,50	1400
Погрузчики универсальные	1,67	4200

Приложение 16

Коэффициенты дифференцирования норм в зависимости от класса длины гона

Классы длины гона, м	Значение показателей длины гона
150	1,38
150-200	1,26
200-300	1,18
300-400	1,12
400-600	1,07
600-1000	1,03
1000	1,00

Приложение 17

Коэффициенты дифференцирования норм в зависимости от средне-расчетных показателей длины гона

Значение средне-расчетного показателя длины гона	Класс длины гона, м
1,012	1000
1,013-1,050	600-1000
1,051-1,105	400-600
1,106-1,148	300-400
1,149-1,222	200-300
1,223-1,315	150-200

Приложение 18

Коэффициенты дифференцирования норм в зависимости от угла склона

Класс угла наклона, град.	Значение
До 1	1,00
1-3	1,02
3-5	1,05
5-7	1,09
Свыше 7	1,16

Приложение 19

Коэффициенты дифференцирования норм в зависимости от средне-расчетных показателей угла склона

Значение	Класс угла склона, град.
1,006	До 1
1,007-1,033	1-3
1,034-1,069	3-5
1,070-1,123	5-7
Более 1,124	7

Приложение 20

Коэффициенты дифференцирования норм в зависимости от рельефа полей по углу склона

Вид работы	Значение коэффициента			
	класс полей по углу склона в градусах			
	До 1°	1-3°	3-5°	5-7°
Пахотные	1,00	0,98	0,96	0,92
Непахотные	1,00	0,96	0,93	0,87

Приложение 21

Коэффициенты дифференцирования норм в зависимости от рельефа полей по углу склона

Степень каменистости	Значение коэффициента
Отсутствует	1,00
Слабая	0,98
Средняя	0,92
Сильная	0,85

Приложение 22

Коэффициенты дифференцирования норм выработки в зависимости от наличия препятствий на полях

Вид работы	Поправочный коэффициент при наличии препятствий, % к общей площади			
	До 5	5-10	10-20	20-30
Пахотные	1,0	0,91	0,85	0,80
Непахотные	1,0	0,89	0,84	0,79

Приложение 23

Коэффициенты дифференцирования норм выработки в зависимости от конфигурации полей

Класс длины	Поправочный коэффициент, учитывающий сложную конфигурацию поля	
	пахотные работы	непахотные работы
150	0,87	0,82
150-200	0,90	0,88
200-300	0,92	0,91
300-400	0,94	0,94
400-600	0,96	0,96
Поля правильной конфигурации	1,00	1,00

Приложение 24

Коэффициенты дифференцирования норм выработки в зависимости от типа почв (песчаные, супесчаные)

Вид работы	Поправочные коэффициенты, учитывающие песчаные и супесчаные почвы
Пахотные	0,96
Непахотные	0,94

Приложение 25

Определение групп на пахотные работы

Диапазон средневзвешенного сопротивления плугов, кН/м^2	Класс длины гона, м						
	более 1000	600 1000	400 600	300 400	200 300	150 200	менее 150
Обобщенный коэффициент 1,00-0,98							
36-40	-	-	I	II	III	IV	V
41-45	I	I	II	III	V	V	VI
46-50	II	II	III	V	V	VI	VII
51-54	III	III	IV	V	VI	VII	VIII
55-59	IV	IV	V	VI	VII	VIII	IX
60-63	V	V	VI	VII	VIII	IX	X
64-68	VI	VII	VII	VIII	VIII	IX	XI
69-73	VII	VIII	VIII	IX	IX	X	XI
74-69	VIII	IX	IX	X	X	XI	XII
80-85	IX	X	X	XI	XI	XII	-
Обобщенный коэффициент 0,98-0,93							
36-40	-	I	II	II	III	IV	VI
41-45	I	II	III	III	IV	V	VII
46-50	II	III	IV	IV	V	VI	VIII
51-54	III	IV	V	V	VI	VII	VIII
55-59	IV	V	VI	VI	VII	VIII	IX
60-63	V	VI	VII	VII	VIII	IX	X
64-68	VI	VII	VIII	VIII	IX	X	XI
69-73	VII	VIII	IX	IX	X	XI	XII
74-69	VIII	IX	X	X	XI	XII	-
80-85	IX	X	X	XI	XII	-	-
Обобщенный коэффициент 0,92-0,83							
36-40	I	II	II	III	IV	V	VI
41-45	II	III	III	IV	V	VI	VII
46-50	III	IV	V	VI	VI	VII	VIII
51-54	IV	V	V	VI	VII	VIII	IX
55-59	V	VI	VI	VII	VIII	IX	X
60-63	VI	VII	VII	VIII	IX	X	XI
64-68	VIII	VIII	IX	IX	X	XI	XII
69-73	VIII	IX	IX	X	XI	XII	-
74-69	IX	X	X	XI	XII	-	-
80-85	X	XI	XI	XII	-	-	-

Приложение 26

Определение групп на непахотные работы

Обобщенный коэффициент	Класс длины гона, м						
	1000	600 1000	400 600	300 400	200 300	150 200	150
1,00-0,98	I	I	II	II	III	IV	V
0,97-0,93	I	II	II	III	IV	IV	V
0,92-0,88	I	III	III	IV	IV	V	VI
0,87-0,83	III	III	IV	IV	V	VI	VII
0,82-0,79	III	IV	IV	V	V	VI	VII
0,78-0,75	IV	IV	V	V	VI	VII	VIII
0,74-0,71	V	V	VI	VI	VII	VIII	-
0,70-0,67	V	VI	VI	VII	VIII	VIII	-

Приложение 27

Технико-технологические характеристики зерновых сеялок фирмы AMAZONEN-Werke»

Технико-эксплуатационные показатели	Технологии							
	классическая			Mini-Till			No-Till	
	D9	*Citan*	*DMC*	*DMC*	*Condor*	*Cauena*	*DMC*	*Condor*
Ширина захвата, м	4-6	6-15	3-12	3-12	12-15	6	3-12	12-15
Часовая производительность при рабочих скоростях от 6,0 до 14,0 км/ч, га/ч	3-10	4-25	2-18	2-18	7-25	4-10	2-18	7-25
Выработка за агросрок (5 дней) на одном поле, на одной культуре, га	160-840	200-1000	90-840	90-840	840-1000	200	90-840	840-1000
Возможная сезонная выработка на возделываемых в агропредприятии культур, включая озимые, га	1500	200	1500	1500	2000	500	1500	2000

Приложение 28

Технико-технологические характеристики сеялок семейства DMC

Модификация	*DMC 3000*	*DMC 4500*	*DMC 602*	*DMC 9000*	*DMC 12000*
Ширина захвата, м	3	4,5	6	9	12
Общая масса (пустая), кг	4800	5600	6400	8500	15000
Количество сошников	16	24	32	48	64
Расстояние между рядами сошников, мм	840	840	840	840	840
Ширина междурядий, см	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75
Объём семенного бункера и бункера для удобрений	4200 л (3/4 сем. матер. 1/4 удобрения)	4200 л (3/4 сем. матер. 1/4 удобрения)	4200 л (3/4 сем. матер. 1/4 удобрения)	4200 л (3/4 сем. матер. 1/4 удобрения)	6000 л (3/4 сем. матер. 1/4 удобрения)
Рабочая скорость, км/ч	10-18	10-18	10-18	10-15	10-15
Мощность трактора, кВт/л.с.	60/80	95/130	133/180	200/270	260/350
Производительность, га/ч (чистого времени)	4,5-5,4	5,4-8,1	6,0-9,0	9,0-13,5	12,0-18,0
Производительность, га/ч (сменного времени)	3,6-4,3	4,3-6,5	4,8-7,2	7,2-10,8	9,6-14,0
Выработка, га за смену (10 ч)	36-43	43-65	48-72	72-108	96-140
Выработка, га за агросрок (5 смен)	180-215	215-325	240-360	360-540	480-700

Приложение 29

Трудоемкость технических обслуживаний, ремонтов, устранения неисправности и хранения тракторов

Марка трактора	Трудоемкость, чел-ч.								
	ЕТО	ТО-1	ТО-2	ТО-3	СТО	ТР	КР	устранение неисправностей	хранение
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Т-170М	1,06	3,95	11	28	10,4	276	62	230	30,5
Т-4А, Т-4М	0,76	3,74	6,77	20,36	8,34	193	58,7	160	21,7
Т-150	0,69	3,79	7,98	26,8	5,06	189	54,2	155	20,8
ДТ-175М	0,7	3,86	8,1	19,63	6,1	216	68,9	165	21
ДТ-75М	0,67	3,14	6,98	16,73	9	126	35,3	105	19,6
Т-150К, ХТЗ-150К-09	0,93	3,15	8,72	26,69	4,59	198	53,4	164	19,2

Окончание прил. 29

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Т-40АМ	0,47	1,64	5,12	12,8	2,39	76	20,4	63	17,2
Т-25А Т-30А	0,38	1,88	3,44	9,54	1,47	69	15,7	49	14,2
К-700А	0,88	3,28	8,21	17,3	13,6	277	60,7	230	26,5
К-701М	0,88	3,28	8,21	17,3	13,6	277	63,3	230	26,5
К-744	0,82	3,3	7,8	18,2	13,2	250	63,3	190	26,5
ЮМЗ-6Л (ЮМЗ-6М)	0,57	1,7	4,89	15,84	6,01	87	13,4	72	19
ЛТЗ-55А	0,65	2,15	6,36	15,42	2,64	96	21,3	92	17,2
ЛТЗ-60АВ	0,68	2,2	6,4	16,2	2,8	98	23,2	93,2	18,1
ЛТЗ-85	0,7	2,35	7,2	18,4	2,95	102	38	108	18,4
ЛТЗ-155	0,78	2,85	8,1	21,5	3,7	132	44	142	18,8
МТЗ-80	0,74	2,38	5,54	16,62	2,78	93	14,8	77	15,2
МТЗ-82	0,74	2,38	5,68	15,99	3,58	102	18	85	15,2
МТЗ-100	0,76	2,47	6,38	15,33	2,04	111	19,4	92	16,4
МТЗ-102	0,76	2,47	6,48	15,58	2,84	120	23,2	100	16,4
МТЗ-1221	0,72	2,84	4,76	8.89	1,35	111	22,0	159	16,8

Приложение 30

Коэффициент корректирования нормативов в зависимости от условий эксплуатации – K_1

Категория условий эксплуатации	Периодичность ТО	Удельная трудоемкость ТР	Пробег до КР
I	1,0	1,0	1,0
II	0,9	1,1	0,9
III	0,8	1,2	0,8
IV	0,7	1,4	0,7
V	0,6	1,5	0,6

Приложение 31

Коэффициент корректирования нормативов в зависимости от природно-климатических условий – $K_3=K_3' \times K_3''$

Характеристика района	Трудоемкость ТО и ТР	Удельная трудоёмкость ТР	Пробег до КР
Умеренный	1,0	1,0	1,0
Умеренно теплый, теплый влажный	1,0	0,9	1,1
Жаркий сухой, очень жаркий сухой	0,9	1,1	0,9
Умеренно холодный	0,9	1,1	0,9
Холодный	0,9	1,2	0,8
Очень холодный	0,8	1,3	0,7
С высокой агрессивностью окружающей среды	0,9	1,1	0,9

Приложение 32

Коэффициент корректирования в зависимости от модификации подвижного состава и организации его работы – K_2

Модификация подвижного состава	Трудоемкость ТО и ТР	Пробег до КР
Базовый автомобиль	1,00	1,00
Седельные тягачи	1,10	0,95
Автомобили с одним прицепом	1,15	0,90
Автомобили с двумя прицепами	1,20	0,85
Автомобили-самосвалы	1,15	0,85
Автомобили-самосвалы с одним прицепом	1,20	0,80
Специализированный подвижной состав	1,10-1,20	–

Приложение 33

Коэффициенты корректирования нормативов удельной трудоемкости ТР (K_4) и продолжительности простоя в техническом обслуживании и ремонте (K_4') в зависимости от пробега с начала эксплуатации

Пробег с начала эксплуатации в долях от нормативного пробега до КР	Легковые		Автобусы		Грузовые	
	K_4	K_4'	K_4	K_4'	K_4	K_4'
До 0,25	0,4	0,7	0,5	0,7	0,4	0,7
От 0,25 до 0,50	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7
От 0,50 до 0,75	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
От 0,75 до 1,00	1,4	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2
От 1,00 до 1,25	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3
От 1,25 до 1,50	1,6	1,4	1,5	1,4	1,4	1,3
От 1,50 до 1,75	2,0	1,4	1,8	1,4	1,6	1,3
От 1,75 до 2,00	2,2	1,4	2,1	1,4	1,9	1,3
Свыше 2,00	2,5	1,4	2,5	1,4	2,1	1,3

Приложение 34

Коэффициент корректирования нормативов трудоемкости ТО и ТР в зависимости от количества обслуживаемых и ремонтируемых автомобилей на АТП и количества технологически совместимых групп подвижного состава – K_5

Число автомобилей в АТП	Число технологически совместимых групп подвижного состава		
	менее трех	три	более трех
До 100	1,15	1,20	1,30
От 100 до 200	1,05	1,10	1,20
От 200 до 300	0,95	1,00	1,10
От 300 до 600	0,85	0,90	1,05
Свыше 600	0,80	0,85	0,95

Рекомендуемая литература

1. Гордеев, А. С. Энергосбережение в сельском хозяйстве : учебное пособие / А. С. Гордеев, Д. Д. Огородников, И. В. Юдаев. – СПб. : Лань, 2014. – 400 с.

2. Дифференцирование норм выработки и расхода топлива на полевых механизированных работах : методические указания / сост.: А. П. Дорохов, Н. А. Печерцев, Э. Г. Мухамадиев, Р. М. Латыпов. – Челябинск : ЧГАУ, 2006. – 32 с.

3. Зангиев, А. А. Эксплуатация машинно-тракторного парка / А. А. Зангиев, А. В. Шпилько, А. Г. Левшин. – М. : КолосС, 2005. – 320 с.

4. Карабаницкий, А. П. Теоретические основы производственной эксплуатации МТП : учебное пособие / А. П. Карабаницкий, Е. А. Кочкин. – М. : КолосС, 2009. – 95 с.

5. Курочкин, И. М. Производственно-техническая эксплуатация МТП : учебное пособие / И. М. Курочкин, Д. В. Доровских. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО ТГТУ, 2012. – 200 с.

6. Маслов, Г. Г. Техническая эксплуатация средств механизации АПК : учебное пособие / Г. Г. Маслов, А. П. Карабаницкий. – СПб. : Лань, 2018. – 192 с.

7. Повышение продуктивности сельхозугодий внутрипочвенным внесением основных видов удобрений при точном (координатном) земледелии : монография / В. А. Милюткин, Г. И. Казаков, А. П. Цирулев [и др.]. – Самара : РИЦ СГСХА, 2013. – 269 с.

8. Сборник нормативных материалов на работы, выполняемые машинно-технологическими станциями (МТС). – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2001. – 190 с.

Оглавление

Предисловие……. 3
Практическое занятие №1. Анализ почвенно-климатических условий Среднего Поволжья…….. 4
Практическое занятие №2. Расчет тяговых свойств современных тракторов при различных условиях движения……. 7
Практическое занятие №3. Анализ энергетических затрат МТА 10
Практическое занятие №4. Комплектование ресурсосберегающего МТА……. 11
Практическое занятие №5. Графоаналитическое комплектование энергосберегающих агрегатов…… 15
Практическое занятие №6. Анализ динамических и экономических показателей работы современных двигателей……. 19
Практическое занятие №7. Оценка влияния условий работы МТА на эксплуатационные показатели…… 21
Практическое занятие №8. Методы экономической оценки показателей работы МТА……..... 26
Практическое занятие №9. Дифференцирование норм выработки и расхода топлива на полевых сельскохозяйственных работах…….. 29
Практическое занятие №10. Разработка операционно-технологической карты полевой сельскохозяйственной операции…….. 33
Практическое занятие №11. Оценка организации движения МТА при выполнении полевых сельскохозяйственных операций. 35
Практическое занятие №12. Определение рационального состава посевных агрегатов по технологическим параметрам для различных агропредприятий……... 37
Практическое занятие №13. Организация технического обслуживания тракторного парка…… 40
Практическое занятие №14. Организация технического обслуживания автомобильного парка…….. 43
Приложения…….. 46
Рекомендуемая литература……. 68

Учебное издание

Милюткин Владимир Александрович
Сазонов Дмитрий Сергеевич
Жильцов Сергей Николаевич
Ерзамаев Максим Павлович

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ МАШИНОИСПОЛЬЗОВАНИЯ В АПК

Методические указания

Отпечатано с готового оригинал-макета
Подписано в печать 9.12.2019. Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л. 4,07; печ. л. 4,38.
Тираж 50. Заказ №430.

Редакционно-издательский отдел ФГБОУ ВО Самарский ГАУ
446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2
Тел.: 8 939 754 04 86 доб. 608
E-mail: ssaariz@mail.ru

Министерство сельского хозяйства
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Самарский государственный
аграрный университет»

Кафедра «Электрификация и автоматизация АПК»

М. Р. Фатхутдинов
П. В. Крючин

СОВРЕМЕННОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ В АПК

Методические указания

Кинель
РИО Самарского ГАУ
2019

УДК 621.3
Ф27

Фатхутдинов, М. Р.
Ф27 Современное электрооборудование и электротехнологии в АПК : методические указания / М. Р. Фатхутдинов, П. В. Крючин. – Кинель : РИО Самарского ГАУ, 2019. – 46 с.

Методические указания по выполнению практических занятий по дисциплине «Современное электрооборудование и электротехнологии в АПК» содержат краткую справочную информацию, задания (порядок и технику выполнения, включая необходимые пояснения).

Предназначены для обучающихся по направлению 35.04.06 «Агроинженерия», профиль подготовки «Электрооборудование и электротехнологии в АПК».

© ФГБОУ ВО Самарский ГАУ, 2019
© Фатхутдинов М. Р., Крючин П. В., 2019

ПРЕДИСЛОВИЕ

Методические указания предназначены для систематизированного оформления практических занятий по дисциплине «Современное электрооборудование и электротехнологии в АПК» обучающимися по направлению 35.04.06 «Агроинженерия», профиль подготовки «Электрооборудование и электротехнологии в АПК».

Цель методических указаний – помочь обучающимся в усвоении знаний по методикам расчета параметров электрического поля коронного разряда, вращающего электрического момента, действующего на зерно в электростатическом поле, установки для обработки грубых кормов электрическим током, магнитострикционного преобразователя, установок электрогидравлического эффекта, параметров электроплазмолизатора растительного сырья и электросепаратора, устройству и принципу работы электроимпульсной установка для борьбы с сорняками.

Методические указания содержат описание 11 практических занятий: краткие теоретические сведения, задания, примеры заданий, содержание отчета, контрольные вопросы.

При выполнении заданий на практических занятиях необходимо придерживаться следующей последовательности: методика расчета, построение графика или эскиза установки, выводы по работе.

Методические указания содержат список рекомендуемой литературы, необходимый для самостоятельной подготовки к занятиям.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Электротехнологии – область науки и техники, изучающая приемы, способы и средства выполнения производственных процессов, использующих электрическую энергию непосредственно или с предварительным преобразованием в другие виды.

Электромагнитное поле – одна из форм существования материи, характеризующаяся совокупностью взаимосвязанных и взаимно обуславливающих электрического и магнитных полей. Распространение электромагнитного поля сопровождается движением электромагнитной энергии, представляющей собой сумму энергий электрического и магнитного полей. Изменениям электрического и магнитного полей сопутствует превращение электрической энергии в магнитную и магнитной в электрическую.

Коронный разряд – один из видов электрического разряда в газе, возникающий в резко неоднородном электрическом поле у электрода с малым радиусом закругления.

Электроплазмолиз – отслоение протопласта клетки от ее оболочки, сопровождающееся сжатием протоплазмы путем воздействия на клетку электрическим током.

Электрогидравлическим эффектом (ЭГЭ) называют возникновение высокого давления в жидкости при возбуждении в ней импульсного электрического разряда.

Электронно-ионная технология (ЭИТ) – это область электротехнологии, использующая взаимодействие сильных электрических полей с электрически заряженными частицами твердого или жидкого материала с целью придания им различных форм упорядоченного и целенаправленного движения.

Ионизация – это физический процесс отрыва электрона от молекул или атомов газов, в результате чего из одной нейтральной молекулы образуются две с разным зарядом.

Практическое занятие 1
РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ КОРОННОГО РАЗРЯДА

Цель: изучить методику расчета параметров электрического поля коронного разряда.

Коронным разрядом, или сокращенно короной, называют вид электрического разряда в газе (воздухе), возникающий в резко неоднородном поле, когда радиус кривизны одного или обоих электродов намного меньше межэлектродного расстояния.

Различают корону постоянного и переменного тока. Корона постоянного тока бывает биполярной и униполярной. При биполярной короне коронируют оба электрода. При униполярной короне коронирует только один из двух электродов. Этот электрод, имеющий малый радиус кривизны, называется коронирующим, а второй – некоронирующим (или осадительным).

Униполярная корона может быть положительной и отрицательной. В первом случае на коронирующий электрод подается положительный потенциал, во втором случае – отрицательный.

На рисунке 1.1 приведены основные системы электродов для создания коронного разряда.

Рассмотрим сущность отрицательной униполярной короны на примере системы электродов «провод – плоскость». При подаче на электроды постоянного напряжения в межэлектродном промежутке создается неоднородное электрическое поле, напряженность которого максимальна на поверхности провода и спадает по мере приближения к плоскости.

При относительно малом напряжении сила тока в цепи электродов практически равна нулю (рис. 1.2). При повышении напряжения до некоторого его значения U_0, напряженность электрического поля у поверхности провода достигает такого значения E_0, при котором у поверхности провода начинается ионизация воздуха. В остальной части межэлектродного промежутка напряженность электрического поля недостаточна для поддержания процесса ионизации.

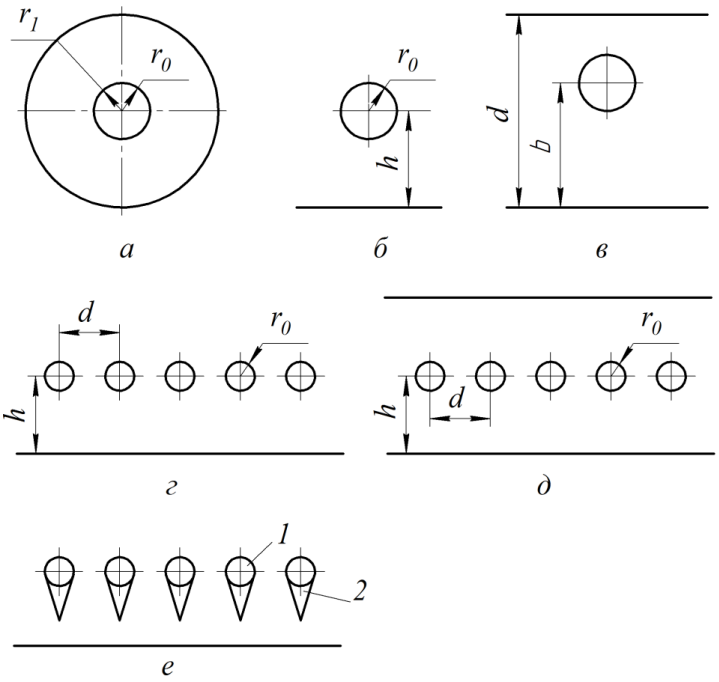


Рис. 1.1. Системы электродов для создания коронного разряда:
а – провод по оси цилиндра; б – провод – плоскость; в – провод между двумя плоскостями; г – ряд проводов – плоскость; д – ряд проводов между двумя плоскостями; е – ряд стержней с иглами – плоскость; 1 – стержень; 2 – игла

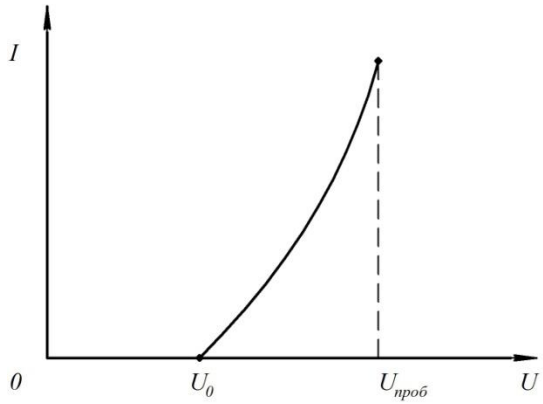


Рис. 1.2. Вольт-амперная характеристика коронного разряда

Электроны, движущиеся от отрицательно заряженного провода к плоскости, теряют скорость из-за резкого спада напряженности поля и «прилипают» к нейтральным молекулам, образуя отрицательные ионы. Эти ионы движутся к плоскости, создавая ток коронного разряда. При дальнейшем повышении напряжения сила тока короны увеличивается до тех пор, пока при некотором напряжении $U_{\text{проб}}$ не наступит пробой промежутка с переходом в дуговой или искровой разряд.

При униполярной короне практически все межэлектродное пространство заполнено ионами одного знака, совпадающего со знаком потенциала на коронирующем электроде.

Коронный разряд сопровождается образованием озона и оксидов азота, электромагнитным излучением в диапазоне от радиоволн до УФ-лучей и другими эффектами.

Рассмотрим расчет основных параметров униполярного коронного разряда для проволочных коронирующих электродов.

Напряженность электрического поля коронного разряда определяют по эмпирической формуле Пика

$$E_0 = 30{,}3\rho\left(1 + \frac{0{,}298}{\sqrt{\rho \cdot r_0}}\right)10^5, \tag{1.1}$$

где $\rho -$ относительная плотность воздуха, кг/м^3 (по отношению к плотности воздуха при нормальных условиях); $\rho = 1,$ при P = 1,013·10^5 Па и T = 293 К (20^{0}С) определяется по формуле

$$\rho = 289 \cdot 10^{-5}\frac{P}{T};$$

r_0 – радиус провода, см ($r_0 = 0{,}0025$ м).

Начальное напряжение коронного разряда

$$U_0 = E_0 \cdot r_0 \cdot A, \text{ В}, \tag{1.2}$$

где A – функция геометрических параметров системы электродов.

Провод по оси цилиндра (рис. 1.1, а):

$$A = \ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right). \tag{1.3}$$

Провод – плоскость (рис. 1.1, б):

$$A = \ln\left(\frac{2h}{r_0}\right).$$

Провод между двумя плоскостями (рис. 1.1, в):

$$A = \ln\left(\frac{2d\sin(\pi b/d)}{\pi r_0}\right).$$

Ряд проводов – плоскость (рис. 1.1, г):

$$A = \frac{2\pi h}{d} - \ln\left(\frac{2\pi r_0}{d}\right).$$

Ряд проводов между двумя плоскостями (рис. 1.1, д):

$$A = \frac{\pi h}{d} - \ln\left(\frac{2\pi r_0}{d}\right).$$

Функция напряжения и геометрических параметров системы электродов.

Провод по оси цилиндра (рис. 1.1, а):

$$G = \frac{8\cdot\pi}{r_1^2\cdot A}\left(1 + 0{,}275\sqrt{\frac{r_1}{r_0}}\right)\cdot U(U - U_0). \qquad (1.4)$$

Провод-плоскость (рис. 1.1, б):

$$G = \frac{2.35\pi\sqrt{3}}{h^2}\cdot\sqrt{\frac{U_0}{A}}\cdot(U - U_0)^{3}/_{2}.$$

Провод между двумя плоскостями (рис. 1.1, в):

$$G = \left[1{,}6 - 0{,}45\sin^3\left(\pi\frac{b}{d}\right) + \frac{\pi r_0}{d\sin\left(\pi\frac{b}{d}\right)}\cdot(5{,}68 - 1{,}86)\sin^3\left(\pi\frac{b}{d}\right)\right]\times$$

$$\times\frac{\pi^3}{2d^2\sin^2\left(\pi\frac{b}{d}\right)}\cdot U(U - U_0).$$

Ряд проводов – плоскость (рис. 1.1, г):

$$G = \frac{2\pi B}{d^2}\cdot\left(\frac{U_0}{A}\right)^{2-C}\cdot(U - U_0)^C,$$

где $\lg B = \begin{cases} 0{,}55\left(0{,}8 - \frac{h}{d}\right) \text{ при } 0{,}75 \le \frac{h}{d} \le 5 \\ -0{,}1285\,\frac{h}{d} - 1{,}655 \text{ при } 5 \le \frac{h}{d} \le 14 \end{cases}$.

$$C = \begin{cases} 1{,}7 \text{ при } 0{,}75 \le \frac{h}{d} \le 2 \\ 1{,}8 \text{ при } 2 \le \frac{h}{d} \le 14 \end{cases}.$$

Ряд проводов между двумя плоскостями (рис. 1.1, д):

$$G = \frac{2\pi^3 B}{h^2}\cdot\left(\frac{U_0}{A}\right)^{2-C}\cdot(U - U_0)^C,$$

где $B = \begin{cases} 0{,}115\,\frac{d}{h} + 0{,}125 \text{ при } 0{,}5 \le \frac{h}{d} \le 1{,}3 \\ 0{,}0178\,\frac{h}{d} - 0{,}185 \text{ при } 1{,}3 \le \frac{h}{d} \le 2{,}3 \end{cases}$.

$$C = 1{,}6 - 0{,}14\frac{h}{d}.$$

При увеличении напряжения формула вольт-амперной характеристики (ВАХ) коронного разряда

$$I_1 = \varepsilon_0 \cdot k \cdot G, \quad (1.5)$$

где I_1 – удельная на единицу длины коронирующего провода сила тока, А/м;

ε_0 – электрическая постоянная (ε_0 = 8,85·10^{-12} Ф/м);

k – отношение средней скорости направленного движения ионов к напряженности электрического поля, м^2/(В·с).

Определяем напряженность поля

$$E = D \cdot \sqrt{\frac{I_1}{2\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot k}}, \quad (1.6)$$

где D – параметр, зависящий от системы электродов. Провод по оси цилиндра (рис. 1.1, а) D = 1, провод – плоскость (рис. 1.1, б) D = 2,5.

Определяем объемную плотность

$$\rho_э = L \cdot \sqrt{\frac{I_1 \cdot E_0}{2\pi \cdot k}}, \quad (1.7)$$

где L – параметр, зависящий от системы электродов.

Провод по оси цилиндра (рис. 1.1, а):

$$L = \frac{1}{r}. \quad (1.8)$$

Провод – плоскость (рис. 1.1, б):

$$L = \sqrt{\frac{3{,}525}{xh}}.$$

Результаты расчета вольт-амперной характеристики (ВАХ) коронного разряда записать в таблицу 1.1.

Таблица 1.1

Результаты расчета вольт-амперной характеристики

U, В	U_0 =	0,2U_{max} =	0,4 U_{max} =	0,6 U_{max} =	0,8 U_{max} =	U_{max} =
$E_{ср}$, кВ/м						
k, м^2 /(Вс)						
G, В^2/м^2						
I_1, А/м						

Задания.

1) Рассчитать параметры электрического поля коронного разряда.

2) Рассчитать и построить вольтамперную характеристику при изменении напряжения от U_0 до U_{max}.

Пример задания. Рассчитать параметры электрического поля коронного разряда, имеющего систему электродов провод – плоскость, с радиусом коронирующего электрода $r_0 = 0{,}16$ мм, при атмосферном давлении $P = 1{,}01 \cdot 10^5$ Па, температуре окружающего воздуха $T = 298$ К, с расстоянием от центра коронирующего электрода до плоскости некоронирующего электрода $h = 170$ мм и максимальным напряжением $U_{max} = 36$ кВ.

Содержание отчета.

1) Привести схему системы электродов.

2) Произвести расчёт параметров электрического поля коронного разряда.

3) Рассчитать и построить вольтамперную характеристику при изменении напряжения от U_0 до U_{max}. Дать описание полученной ВАХ коронного разряда.

Контрольные вопросы

1. Что такое коронный разряд?
2. Какими эффектами сопровождается коронный разряд?
3. Какие системы электродов вы знаете?
4. Какие параметры электрического поля коронного разряда вы знаете?
5. Какое влияние оказывает на напряженность радиус электрода?
6. Как определяется начальное напряжение коронного разряда?

Практическое занятие 2
РАСЧЁТ НАПРЯЖЁННОСТИ В РАЗЛИЧНЫХ ТОЧКАХ МЕЖЭЛЕКТРОДНОГО ПРОМЕЖУТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ КОРОННОГО РАЗРЯДА

Цель: изучить методику расчета напряжённости в различных точках межэлектродного промежутка электрического поля коронного разряда.

В системе «провод – плоскость» напряжённость электрического поля вдоль центральной силовой линии, В/м, может быть определена по формуле

$$E_x = \frac{2h}{h+x} \cdot \sqrt{\frac{I_k}{2\pi \cdot k \cdot \varepsilon_0}\left[\frac{2h+x}{3h} - \left(\frac{r_0}{x}\right)^2\right] + E_0^2\left(\frac{r_0}{x}\right)^2}, \qquad (2.1)$$

где h – расстояние от коронирующего электрода до плоскости, м;

x – расстояние от коронирующего электрода до рассматриваемой точки поля, где вычисляется напряжённость, м;

r_0 – радиус коронирующего электрода, м;

ε_0 – электрическая постоянная ($\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м);

E_0 – начальная напряжённость при которой возникает коронный разряд, В/м;

I_k – ток короны на единицу длины коронирующего электрода, А/м, который определяется из выражения:

$$I_k = \frac{0{,}5 \cdot k \cdot E_0^2 \cdot 4\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot {r_0}^2 \cdot}{h^2} \cdot \left[\left(1 + (n-1) \cdot \ln\frac{2h}{r_0}\right)^{1{,}75} - 1\right], \qquad (2.2)$$

где k – отношение средней скорости направленного движения ионов к напряженности электрического поля, называемое подвижностью ионов, м^2/(В·с), определяется по кривым на рисунке 2.1;

n – коэффициент, показывающий, во сколько раз приложенное напряжение короны выше начального:

$$n = \frac{U}{U_0} = \frac{U}{E_0^2 \cdot r_0 \cdot \ln\dfrac{2h}{r_0}}. \qquad (2.3)$$

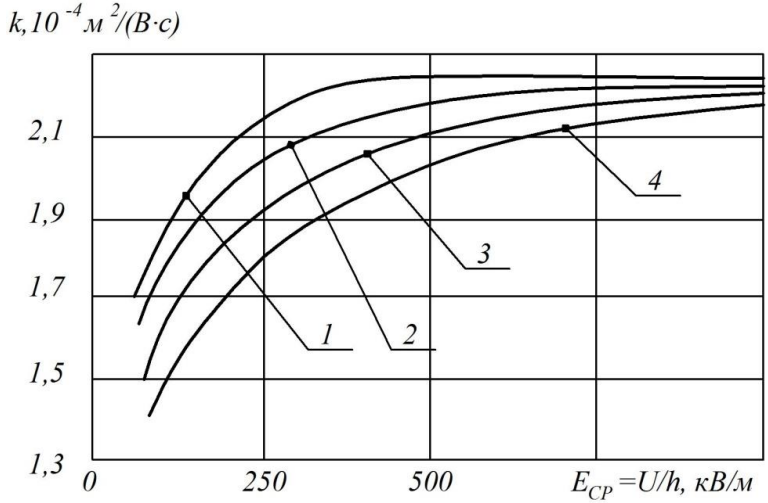


Рис. 2.1. Подвижность отрицательных ионов в зависимости от расстояния (h) между коронирующим и некоронирующим электродами:
1 – h = 0,05 м; 2 – h = 0,1 м; 3 – h = 0,15 м; 4 – h = 0,2 м

Результаты расчетов представить графически и по форме таблицы 2.1.

Таблица 2.1

Результаты расчетов распределения напряжённости поля в системе электродов провод – плоскость

x, м	$x = r_0$	$x = 0{,}01h$	$x = 0{,}05h$	$x = 0{,}1h$	$x = 0{,}5h$	$x = h$
k, м^2/(Вс)						
I_k, А/м						
E_x, В/м						

Задания.

1) Для электрического поля коронного разряда по системе «провод – плоскость» рассчитать напряжённость электрического поля и ток короны на единицу длины коронирующего электрода.

2) Построить график распределения напряжённости поля в плоскости $E_x=f(x)$, перпендикулярной некоронирующему электроду и по оси коронирующего электрода (вдоль центральной силовой линии поля).

Пример задания. Для электрического поля коронного разряда по системе «провод – плоскость» рассчитать напряжённость электрического поля и ток короны на единицу длины коронирующего электрода при U = 40 кВ, расстоянии между коронирующим и некоронирующим электродами h = 100 мм и радиусе коронирующего электрода $r_0 = 0{,}16$ мм.

Содержание отчета.

1) Произвести расчёт напряжённости электрического поля и тока короны на единицу длины коронирующего электрода.

2) Построить график распределения напряжённости поля в плоскости $E_x=f(x)$. Дать описание полученному графику.

Контрольные вопросы

1. Как распределяется напряженность поля в системе электродов провод – плоскость?
2. Что называется подвижностью ионов?
3. Какие основные параметры влияют на ток короны?
4. Методика расчета напряжённости в различных точках межэлектродного промежутка электрического поля коронного разряда.

Практическое занятие 3
РАСЧЁТ ЗАРЯДА И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ЗЕРНО В ПОЛЕ КОРОННОГО РАЗРЯДА

Цель: изучить методику расчета заряда и электрических сил, действующих на зерно в поле коронного разряда.

Величина предельного заряда зерна Q_n как двухосного эллипсоида определяется по формуле

$$Q_n = \frac{\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot E_x \cdot a \cdot b}{1 + (\varepsilon - 1) \cdot \Phi_1},$$

где ε_0 – электрическая постоянная (ε_0= 8,85· 10^{-12}Ф/м);

ε – относительная диэлектрическая проницаемость зерна (величина безразмерная);

E_x – напряженность электрического поля в зоне зарядки, В/м;

a, b – размеры зерна (длина и толщина), м;

Φ_1 – коэффициент осевой деполяризации зерна, который определяется по таблице 3.1 (по величине отношение b/a).

Таблица 3.1

Коэффициент осевой поляризации зерна

b/a	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Φ_1	0,03	0,06	0,12	0,15	0,2	0,25	0,3	0,31	0,32

Если зерно расположено на некоронирующем электроде, то оно не только заряжается, но и разряжается, в результате остаточный заряд зерна, Кл, определяется по формуле

$$Q_0 = Q_n \cdot \mu = \frac{Q_n \cdot \left(2\pi \cdot \varepsilon_0 - 2 \cdot \varepsilon_0 \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot (\pi \cdot \varepsilon_0 + \beta \cdot C \cdot R)}{4\pi \cdot \varepsilon_0}} + \beta \cdot C \cdot R\right)}{\beta \cdot C \cdot R}, \text{ Кл}, \quad (3.1)$$

где μ – показатель разрядки;

R – переходное сопротивление, Ом;

C – электрическая емкость между зерном и некоронирующим электродом, Ф;

ε_0 – электрическая постоянная;

β – параметр, характеризующий скорость зарядки, 1/(Ом·м).

Для практических расчётов ёмкость C и параметр β вычисляются по следующим выражениям:

$$\beta = \frac{1}{9} \cdot 10^{-12} \cdot E_{\text{П}}, \quad (3.2)$$

$$\text{С} = 1{,}4 \cdot 10^{-12} \cdot b^2, \quad (3.3)$$

где b – толщина зерна, мм;

$E_{\text{п}}$ – напряжённость поля на поверхности некоронирующего электрода, В/м.

Электрическая сила в межэлектродном промежутке

$$F_1 = Q_n \cdot E_x, \text{ Н}. \quad (3.4)$$

Электрическая сила на поверхности некоронирующего электрода с учётом взаимодействия заряженного зерна и плоскости

$$F = F_1 + F_2 = Q_0 \cdot E_n + \frac{Q_0^2}{16\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot l^2}, \text{ Н}, \quad (3.5)$$

где l=b/4 – расстояние от центра заряда зерна до плоскости некоронирующего электрода, м.

Сила тяжести (вес) зерна определяется по формуле

$$P = m \cdot g, \text{ Н}, \quad (3.6)$$

где g – ускорение свободного падения, g = 9,81 м/с^2;

m – масса одного зерна, $m = \frac{\pi}{6} a \cdot b^2 \cdot \rho$, кг;

a – длина зерна, м;

b – толщина зерна, м;

ρ – объемная плотность зерна, ρ= (1,2…1,3)· 10^3 кг/м^3.

Задания.

1) Определить величину заряда зерна в межэлектродном промежутке при $x = 0{,}5 \cdot h$ и на плоскости некоронирующего электрода, а также электрические силы, действующие на зерно в этих точках поля.

2) Графическим способом определить общую силу, действующую на зерно в межэлектродном промежутке при $x = 0{,}5 \cdot h$ и на плоскости некоронирующего электрода.

Пример задания. Определить величину заряда зерна в межэлектродном промежутке при x = 0,5·h и на плоскости некоронирующего электрода, а также электрические силы, действующие на зерно в этих точках поля.

Длина зерна a = 10,6 мм, толщина b = 3,5 мм, относительная диэлектрическая проницаемость зерна ε = 45 и переходное сопротивление R = 4,5·10^9 Ом.

Содержание отчета.

1) Произвести расчёт величины заряда зерна в межэлектродном промежутке и электрических сил, действующих на зерно.

2) Изобразить эскиз зерна, нанести векторы сил, действующих на зерно, определить величину и направление общей силы.

Контрольные вопросы

1. Какие силы действуют на зерно в поле коронного разряда?
2. Как графически определить общую силу, действующую на зерно в межэлектродном промежутке?
3. Какие основные параметры влияют на величину предельного заряда зерна?
4. От чего зависит коэффициент осевой деполяризации зерна?

Практическое занятие 4
РАСЧЁТ ВРАЩАЮЩЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОМЕНТА, ДЕЙСТВУЮЩЕГО НА ЗЕРНО В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Цель: изучить методику расчета вращающего электрического момента, действующего на зерно в электростатическом поле.

Перераспределение связных зарядов под действием электрического поля на частице круглой формы приведет к ее притяжению с силой $F_э$ к тому электроду, на котором она располагается, а на частице вытянутой формы возникнет вращающий электрический момент $M_э$ (рис. 4.1), стремящийся установить частицу длинной осью вдоль силовых линий электрического поля, т.е. сориентировать.

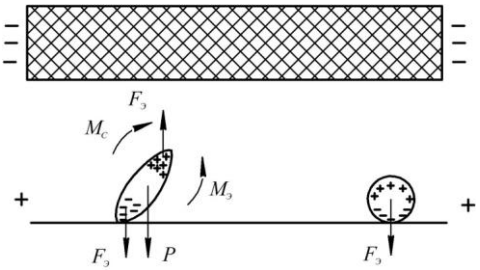


Рис. 4.1. Ориентировка частиц удлиненной формы в однородном электрическом поле

Повороту препятствует момент сопротивления от силы тяжести частицы $M_с$.

На диэлектрические частицы вытянутой формы в электростатическом поле действует электрический момент

$$M_Э = \frac{E^2 \cdot \varepsilon_0}{d} \cdot V \cdot \Phi_2 \cdot \sin 2\gamma, \text{ Н·м}, \quad (4.1)$$

где E – напряженность внешнего электрического поля, В/м;

V – объем диэлектрического тела, м^3;

ε_0 – диэлектрическая постоянная, ε_0=8,85·10^{-12}(Ф/м);

γ – угол между большой осью эллипсоида и горизонтальной плоскостью, град;

Φ_2 – коэффициент деполяризации, зависящий от размеров, формы и диэлектрической проницаемости частицы, определяется по формуле

$$\Phi_2 = \frac{\Phi_1' - \Phi_1}{\left(\frac{1}{\varepsilon - 1} - \Phi_1\right) \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon - 1} - \Phi_1'\right)}, \quad (4.2)$$

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость зерна;

Φ_1 и Φ_1' – функции, учитывающие ослабления внутреннего поля, соответственно вдоль большой и малой оси эллипсоида, принимаются по таблице 4.1.

Таблица 4.1

Значение функций Φ_1 *и* Φ_1'

b/a	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Φ_1'	0,49	0,46	0,45	0,45	0,4	0,39	0,37	0,36	0,35	0,34
Φ_1	0,03	0,06	0,12	0,15	0,2	0,25	0,3	0,31	0,32	0,33

Для перераспределения напряжённости в воздушный промежуток вводят слой диэлектрика, тогда напряжённость поля в воздушном промежутке

$$E_в = \frac{U}{h_в + \frac{\gamma_в}{\gamma_д} \cdot h_д}, \text{ В/м}, \quad (4.3)$$

где U – приложенное к электродам напряжение, В;

$h_в$ и $h_д$ – толщина воздушного промежутка и диэлектрика, м;

$\gamma_в$ и $\gamma_д$ – проводимость воздушного промежутка и диэлектрика, 1/Ом·м.

Повороту эллипсоида под действием электрического момента препятствует момент сопротивления от силы тяжести

$$M_C = P \cdot \frac{a}{2}, \text{Н} \cdot \text{м}, \quad (4.4)$$

где P – сила тяжести (вес) зерна, Н.

Сила тяжести (вес) зерна определяется по формуле

$$P = m \cdot g, \text{Н}, \quad (4.5)$$

где g – ускорение свободного падения, g = 9,81 м/с^2;

m – масса одного зерна, $m = \frac{\pi}{6} a \cdot b^2 \cdot \rho$, кг;

a – длина зерна, м;

b – толщина зерна, м;

ρ – объемная плотность зерна, ρ= (1,2…1,3)· 10^3 кг/м^3.

Задание. Определить электрический момент и момент сопротивления, сравнить их и сделать вывод о возможности ориентировки в электрическом поле.

Пример задания.

Определить электрический момент и момент сопротивления, сравнить их и сделать вывод о возможности ориентировки в электрическом поле.

Исходные данные для расчета:

– длина зерна a = 10,5 мм;

– толщина зерна b = 2,9 мм;

– относительная диэлектрическая проницаемость зерна ε = 86;

– угол между большой осью эллипсоида и горизонтальной плоскостью γ = 30 град;

– приложенное к электродам напряжение U = 35 кВ;

– толщина воздушного промежутка и диэлектрика $h_в$ = 24 мм и $h_д$= 50 мм;

– проводимость воздушного промежутка и диэлектрика $\gamma_в = 0{,}6\ 10^{-14}$ 1/Ом·м и $\gamma_д$=1·10^{-8} 1/Ом·м.

Зарисовать эскиз зерна с нанесением электрического момента и момента сопротивления.

Содержание отчета.

1) Произвести расчёт электрического момента и момента сопротивления, действующих на зерно в электростатическом поле.

2) Изобразить эскиз зерна, нанести векторы сил и моменты, действующие на зерно.

Контрольные вопросы

1. Что влияет на диэлектрические частицы вытянутой формы в электростатическом поле?
2. Чему равна диэлектрическая постоянная?
3. От чего возникает момент сопротивления?
4. От чего зависит коэффициент осевой деполяризации зерна?

Практическое занятие 5
РАСЧЁТ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ГРУБЫХ КОРМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Цель: изучить методику расчёта установки для обработки грубых кормов электрическим током.

Начальная мощность, потребляемая установкой:

$$N = \frac{V \cdot \gamma_{\text{Н}} \cdot U^2}{l^2} \cdot 10^{-3}, \text{кВт}, \quad (5.1)$$

где V – объём установки для соломенной резки, м^3, определяется одновременно подготавливаемым количеством соломенной резки G (т) и плотностью укладки ρ (принимается ρ = 500-700 кг/м^3);

U – приложенное напряжение, В;

l – высота укладки соломенной резки, т.е. расстояние между электродами, м, принимается исходя из условия, чтобы напряженность поля в слое соломы не превышала 250 В/м;

γ_H – начальная удельная электропроводность соломенной резки, 1/Ом·м:

$$\gamma_{\text{Н}} = \gamma_{20} \cdot [1 + \alpha(20 - t_{\text{Н}})], 1/\text{Ом·м}, \quad (5.2)$$

где α – температурный коэффициент проводимости резки, принимается 0,025 – 0,03 1/^{0}С;

γ_{20} – электропроводность при 20^{0}С, 1/Ом·м, определяется по формуле

$$\gamma_{20} = 0{,}9 \cdot 10^{-6} \cdot (0{,}031 \cdot W - 1) \cdot (1 + 0{,}011 \cdot K) \cdot \rho^2, \quad (5.3)$$

где W – степень увлажнения, %;

K – концентрация содово-солевого раствора, % (K = 2%).

Мощность установки в конце процесса нагрева, кВт:

$$P_K = P_{\text{Н}}\left[1 + \alpha \cdot \left(t_{\text{доп}} - t_{\text{Н}}\right)\right], \text{кВт}, \quad (5.4)$$

где $t_{\text{доп}}$ – допустимая температура нагрева, $t_{\text{доп}}$ = 85^{0}С.

Продолжительность нагрева до допустимой температуры, с:

$$\tau = \frac{c \cdot V \cdot \ln\left(1 + \alpha \cdot \left(t_{\text{доп}} - t_{\text{Н}}\right)\right)}{\eta \cdot P_{\text{Н}} \cdot \alpha}, \text{с} \quad (5.5)$$

где c – объемная теплоёмкость соломенной резки, принимается 2,3 кДж/(кг·^{0}С) = 1150 кДж/(м$^{3\cdot 0}$С);

η – КПД установки, ($\eta = 0{,}95$).

Приращение температуры резки и потребляемая установкой мощность по истечении некоторого времени работы τ:

$$\Delta t = \frac{1}{\alpha}\left(e^{\frac{\eta \cdot P_{\text{Н}} \cdot \alpha}{c \cdot V}} - 1\right), {}^0\text{С}, \quad (5.6)$$

$$P_\tau = P_{\text{Н}} \cdot e^{\frac{\eta \cdot P_{\text{Н}} \cdot \alpha}{c \cdot V} \cdot \tau}, \text{кВт}. \quad (5.7)$$

Удельный расход электроэнергии

$$A_{\text{уд}} = \frac{P_{\text{ср}} \cdot \tau}{G}, \text{кВт} \cdot \text{ч}. \quad (5.8)$$

Средняя мощность

$$P_{\text{ср}} = \frac{P_{\text{Н}} + P_{\text{К}}}{2}, \text{кВт}. \quad (5.9)$$

Стоимость обработки

$$S = P_{\text{ср}} \cdot \tau \cdot S_{\text{Э}} = A_{\text{уд}} \cdot G \cdot S_{\text{Э}}, \text{руб.}, \quad (5.10)$$

где $S_{\text{Э}}$ – стоимость электроэнергии, руб./кВт · ч.

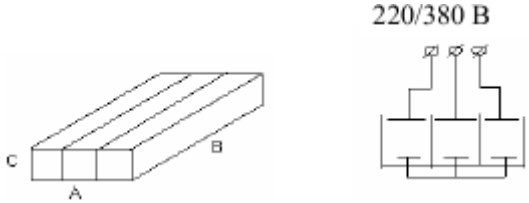


Рис. 5.1. Установка для обработки грубых кормов электрическим током

Задания.

1) Определить объём V установки и её размеры. Начальную удельную электропроводность соломенной резки. Потребляемую установкой мощность в начале и в конце процесса.

Продолжительность нагрева до допустимой температуры. Приращение температуры резки и потребляемую установкой мощность через 1,5 ч работы. Удельный расход электроэнергии и стоимость обработки всей массы соломенной резки.

2) Зарисовать схему установки с изображением основных параметров.

Пример задания. Определить объём V установки и её размеры. Начальную удельную электропроводность соломенной резки. Потребляемую установкой мощность в начале и в конце процесса.

Продолжительность нагрева до допустимой температуры. Приращение температуры резки и потребляемую установкой мощность через 1,5 ч работы. Удельный расход электроэнергии и стоимость обработки всей массы соломенной резки. Солома имеет следующие характеристики:

– количество соломенной резки G = 10 т;
– степень увлажнения W = 35,4%;
– начальная температура $t_{\text{Н}}$=10 ^{0}С.

Содержание отчета.

1) Произвести расчёт установки для обработки грубых кормов электрическим током.

2) Изобразить схему установки с изображением основных параметров.

Контрольные вопросы

1. Что влияет на мощность потребляемую установкой?
2. Как определяли мощность установки в конце процесса нагрева?
3. Какова допустимая температура нагрева?
4. Как определяли стоимость обработки?
5. Как определяли удельный расход электроэнергии?

Практическое занятие 6
РАСЧЁТ МАГНИТОСТРИКЦИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Цель: изучить методику расчета магнитострикционного преобразователя.

Расчет размеров магнитопровода.

Площадь сечения стержней:

$$S_{\text{ст}} = \frac{P}{P_0}, \text{м}^2, \qquad (6.1)$$

где P – заданная мощность преобразователя, Вт;

P_0 – удельная допустимая мощность, Вт/м^2, выбирается по таблице 6.1.

Таблица 6.1

Характеристика материалов

Материал	Магнитострикция	E_y, Н/м^2	$\gamma_м$, кг/м^3	v, м/с	P_0, Вт/м^2
Никель	$35\cdot10^{-8}$	$2{,}1\cdot10^{11}$	$8{,}9\cdot10^3$	$4{,}86\cdot10^3$	$(5\text{-}8)\cdot10^5$
Альсифер	$40\cdot10^{-8}$	$1{,}77\cdot10^{11}$	$6{,}65\cdot10^3$	$5{,}16\cdot10^3$	$(6\text{-}8)\cdot10^5$
Пермендюр	$70\cdot10^{-8}$	$2{,}18\cdot10^{11}$	$8{,}08\cdot10^3$	$5{,}2\cdot10^3$	$(9\text{-}12)\cdot10^5$

Ширина окна C_o принимается в соответствии с заданной мощностью по таблице 6.2.

Таблица 6.2

Параметры для выбора ширины окна

Мощность P, кВт	0,26-0,5	0,5-1	1-2	2-3
Ширина окна C_o, м	$(8\text{-}10)\cdot10^3$	$(10\text{-}14)\cdot10^3$	$(14\text{-}16)\cdot10^3$	$(15\text{-}18)\cdot10^3$
Оптимальная напряженность H_0, А/м	$0{,}9\cdot10^3$	$1{,}2\cdot10^3$	$1{,}5\cdot10^3$	$1{,}8\cdot10^3$

Ширина пластин, стержней и перемычки ярма:

$$b = \frac{C_0}{2} + \sqrt{\frac{C_0}{4} + S_{\text{СТ}}}, \text{м}, \tag{6.2}$$

$$a = \frac{b - C_0}{2}, \text{м}, \tag{6.3}$$

$$d_0 = (1 \dots 2)a, \text{м}. \tag{6.4}$$

Толщина пакета пластин σ принимается равной ширине пластин b. Высота окна магнитопровода

$$h = \frac{3 \cdot b \cdot d_0}{2a} \cdot \left(\sqrt{1 + \left(0{,}37 \frac{v \cdot a}{b \cdot d_0 \cdot f}\right)^2} - 1 \right), \text{м}, \tag{6.5}$$

где υ – скорость звука в материале преобразователя, принимается по таблице 6.1, м/с.

Расчет параметров обмоток.

Число витков обмотки возбуждения

$$\omega_{\text{в}} = \frac{U}{4.44 \cdot f \cdot B \cdot S_{\text{ст}}}, \tag{6.6}$$

где U – рабочее напряжение, принимается U = 220 В;

B – индукция, при которой наступает насыщение, B = 0,15 Тл.

Ток возбуждения:

$$I_{\text{в}} = \frac{P \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot U \cdot \cos\varphi}, \text{А}, \tag{6.7}$$

где cosφ – коэффициент мощности, принимается 0,9-0,95.

Ток подмагничивания:

$$I_{\text{п}} = \frac{A \cdot \omega}{1{,}4 \cdot \omega_{\text{в}}}, \text{А}, \tag{6.8}$$

где $A \cdot \omega$ – ампервитки, принимается $A \cdot \omega = 0{,}8 \cdot H_0 \cdot l$;

H_0 – оптимальная напряжённость магнитного поля, В/м, (табл. 6.2);

l – длина средней линии магнитопровода, м.

$$I_{\text{п}} = 2 \cdot (h + d_0) + (\sigma + a) \cdot \frac{a}{d_0}, \text{м}. \tag{6.9}$$

Ток полный:

$$I_{\text{п}} = \sqrt{I_{\text{п}}^2 + I_{\text{в}}^2}, \text{А}. \tag{6.10}$$

Сечение, диаметр или размеры провода обмотки вибратора:

$$S_{\text{пр}} = \frac{I}{j}, \text{или } S_{\text{пр}} = a' \cdot b', \text{мм}^2, \tag{6.11}$$

где j – допустимая плотность тока, принимается 2,5-4 А/мм^2;

a', b' – ширина и толщина плоского провода, принимается в соотношение 3:1. По таблице 6.3 выбирается стандартный прямоугольный провод.

Стандартные диаметры d, мм, обмоточных проводов марки ПЭВ, ПЭТВ, ПЭЛШО:0,57; 0,67; 0,76; 0,86; 0,96; 1,16; 1,3; 1,56; 1,88; 1,95;2,1; 2,44.

Таблица 6.3

Стандартные размеры прямоугольных проводов марки ПБ

Размер проволоки по большей стороне *b*, мм	Размер проволоки по меньшей стороне *a*, мм	Размер проволоки по большей стороне *b*, мм	Размер проволоки по меньшей стороне *a*, мм
3,75	1,4	7,1	3,75
4	1,5	7,5	4
4,25	1,6	8	4,25
4,5	1,7	8,5	4,5
4,75	1,8	9	4,75
5	1,9	9,5	5
5,3	2	10	5,3
5,6	2,1	10,5	6
6	2,5	12,5	6
6,3	2,8	14	6
6,7	3,35	15	6

Расчет размеров концентраторов.

В качестве переходных концентраторов могут быть использованы ступенчатые (при мощности до 1,5 кВт) и экспоненциальные

(мощностью более 1,5 кВт).

Длина концентратора:

$$l_{\text{р}} = \frac{1}{2 \cdot f} \cdot \sqrt{\frac{E_{\text{у}}}{\gamma_{\text{м}}}}, \text{м}, \tag{6.12}$$

где E_y – модуль упругости, Н/м^2, выбирается по таблице 6.1;

$\gamma_{\text{м}}$ – плотность материала, кг/м^3, выбирается по таблице 6.1.

Диаметр торца верхней части концентратора должен быть менее

$$D_{\text{в}} \geq \sqrt{b^2 + \sigma^2}, \text{м}. \tag{6.13}$$

Диаметр нижнего торца:

$$D_{\text{н}} = (0{,}5 \ldots 0{,}75) \cdot D_{\text{в}}, \text{м}. \tag{6.14}$$

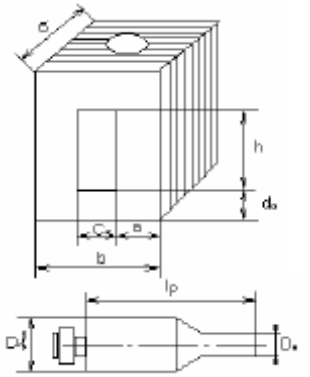


Рис. 6.1. Изображение магнитопровода (вверху) и концентратора

Задания.

1) Рассчитать магнитострикционный преобразователь.
2) Зарисовать эскиз магнитопровода и концентратора.

Пример задания. Произвести расчёт размеров магнитопровода и концентратора, параметров обмоток установки мощностью P = 2,5 кВт и частотой f = 14 кГц.

Содержание отчета.

1) Произвести расчёт размеров магнитопровода и концентратора, параметров обмоток.
2) Изобразить эскиз магнитопровода и концентратора с указанием полученных значений.

Контрольные вопросы

1. Что влияет на диэлектрические частицы вытянутой формы в электростатическом поле?
2. Чему равна диэлектрическая постоянная?
3. От чего возникает момент сопротивления?
4. От чего зависит коэффициент осевой деполяризации зерна?

Практическое занятие 7
РАСЧЕТ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Цель: изучить методику расчета установок электрогидравлического эффекта.

Электрогидравлический эффект возникает в жидкости при возбуждении в ней импульсного электрического разряда и характеризуется большими значениями мгновенных токов, мощностей и давлений.

Принципиальная схема электрогидравлической установки, представленная на рисунке 7.1, включает в себя зарядную цепь, состоящую из повышающего трансформатора *TV*, вентиль *VD*, токоограничивающий резистор *R*, накопитель энергии – конденсатор С, разрядную цепь – воздушный разрядник *F1* (формирующий промежуток), рабочий межэлектродный промежуток *F2,* располагаемый в жидкости.

Данная схема представляет собой генератор электрических импульсов. Зарядная цепь заряжает конденсатор в течении времени до напряжения, при котором пробивается формирующий промежуток *F1*. В это время накопительный конденсатор подключается к основному промежутку в жидкости и начинается его пробой. После пробоя жидкости между электродами возникает токопроводящий канал, на который разряжается накопительный конденсатор.

Ток разряда, достигающий десятков и сотен килоампер, разогревает плазму в канале до температуры около 10^4 К. Благодаря малой сжимаемости жидкости разогрев плазмы приводит к повышению давления в канале разряда до значений порядка 10^9 Па. Это давление распространяется во все стороны, создавая ударную

волну в жидкости. Кроме ударной волны действующими факторами при ЭГЭ могут быть скоростные потоки жидкости, акустическое излучение, термический удар, разрядный ток через среду, электромагнитное излучение.

В процессе разряда напряжение на конденсаторе падает и, наконец, становится недостаточным для поддержания разряда. Разряд прекращается, промежуток деионизируется. Далее этот цикл повторяется в той же последовательности с частотой, определяемой параметрами цепи.

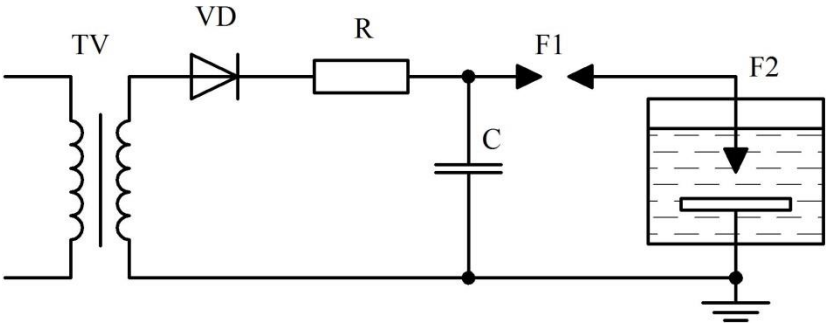


Рис. 7.1. Электрическая схема электрогидравлической установки

Расчет установок электрогидравлического эффекта проводится в следующей последовательности.

Определяется оптимальное расстояние между электродами, соответствующее предельно возможной мощности в зарядном контуре.

Определяем оптимальное расстояние между электродами, соответствующее предельно возможной мощности в зарядном контуре:

$$l = 8 \cdot 10^{-9} \left(U_p\right)^{1.5} \cdot \left(\frac{C}{L}\right)^{0,25}, \text{м}, \tag{7.1}$$

где $U_\text{Р}$ – напряжение разряда конденсатора, В, принимается $U_\text{Р} = \alpha U$;

α – степень зарядки конденсатора; принимаем в пределах α=0,72-0,94 из условия получения максимальной мощности, выделяющейся в разрядном контуре;

C – емкость накопительного конденсатора, Ф;

L – индуктивность разрядной цепи, Гн.

Определяем максимальный разрядный ток, А:

$$I_M = 0{,}5U_p\sqrt{\frac{C}{L}}. \tag{7.2}$$

Сопротивление канала разряда в момент максимума силы разрядного тока:

$$R_K = 4{,}4 \cdot 10^7 l\left(U_p\right)^{-1.5}. \tag{7.3}$$

Максимум мощности, развиваемой в конце разряда:

$$P_M = I_M^2 R_K. \tag{7.4}$$

Энергия, выделяемая в межэлектродном промежутке единичным импульсом:

$$W = \frac{CU_P^2}{2}. \tag{7.5}$$

Максимальное давление на фронте волны, развиваемое в канале разряда:

$$P_\Phi = 6{,}1\ (x)^{-0{,}5} \cdot (W)^{0{,}625} \cdot (T_P)^{-0{,}75}, \tag{7.6}$$

где x – расстояние от фронта волны до оси канала, принимаем $x=l$;

T_P – время заряда, с, $T_P = 3{,}8\sqrt{LC}$.

Средняя мощность разрядной цепи:

$$P_\text{Р} = \frac{CU^2 f}{2}, \tag{7.7}$$

где f – частота следования импульсов, f =0,2…2 Гц.

Сопротивление зарядной цепи конденсатора:

$$R_3 = \frac{1}{fC\ln\frac{1}{1-\alpha}}. \tag{7.8}$$

Постоянная времени зарядки:

$$T_3 = R_3 C. \tag{7.9}$$

КПД зарядной цепи:

$$\eta_3 = \frac{1}{1+\frac{2}{T_3}}. \tag{7.10}$$

Полная мощность, потребляемая зарядной цепью:

$$P_3 = \frac{P_\text{Р}}{\eta_3 \cos\varphi}, \tag{7.11}$$

где $\cos\varphi$ – коэффициент мощности, $\cos\varphi = 0{,}75 \ldots 0{,}9$.

Задания.

1) Рассчитать основные параметры установок электрогидравлического эффекта.

2) Проанализировать полученные значения.

Пример задания. Произвести расчёт оптимального расстояния между электродами, максимального разрядного тока, энергии, выделяемой в межэлектродном промежутке единичным импульсом, КПД электрогидравлического эффекта установки, имеющей следующие значения:

– напряжение $U = 38$ кВ;

– емкость накопительного конденсатора $C = 16 \cdot 10^{-6}$ Ф;

– индуктивность разрядной цепи $L = 16 \cdot 10^{-6}$ Гн.

Содержание отчета.

1) Произвести расчёт оптимального расстояния между электродами, максимальный разрядный ток, энергии, выделяемой в межэлектродном промежутке единичным импульсом, КПД.

2) Дать анализ полученным значениям.

Контрольные вопросы

1. Из-за чего возникает электрогидравлический эффект в жидкости?
2. Перечислите основные элементы схемы электрогидравлической установки.
3. Какие процессы проходят при работе схемы?
4. Как определяется максимальный разрядный ток?
5. От чего зависит средняя мощность зарядной цепи?
6. От чего зависит оптимальное расстояние между электродами?

Практическое занятие 8
РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОПЛАЗМОЛИЗАТОРА РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Цель: изучить методику расчета параметров электроплазмолизатора растительного сырья.

Электроплазмолиз относится к процессам электронной обработки растительного сырья – мезги, стружки плодов и овощей, зеленой массы и т.п. При прохождении электрического тока через влажную растительную массу происходит взрыв клеток, что приводит к увеличению сокоотдачи плодов, овощей, ускорению обезвоживания травяной массы.

Наибольший интерес представляет расчет параметров барабанного электроплазмолизатора, конструктивная схема которого представлена на рисунке 8.1.

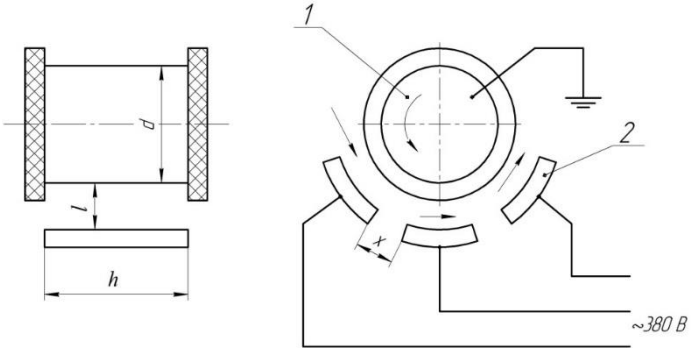


Рис. 8.1. Конструктивная схема электроплазмолизатора:
1 – заземленный барабан с диэлектрическими бортами; 2 – фазные электроды

Напряженность электрического поля между электродами плазмолизатора:

$$E = \frac{U_ф}{l}, \text{ В/м}, \tag{8.1}$$

где $U_ф$ – фазное напряжение между электродами сети, В;

l – расстояние между электродами, м.

Продолжительность процесса плазмолиза:

$$t = \frac{3 \cdot 10^6 \cdot \rho \cdot K_\Theta}{E^3 \cdot \Theta}, \text{ с}, \tag{8.2}$$

где ρ, Θ – соответственно удельное электрическое сопротивление и температура обрабатываемого сырья, значение из таблицы 8.1;

K_Θ – коэффициент токоустойчивости, показывающий как клетки противостоят действию тока, разрушающего оболочку, значение определяют по таблице 8.1.

Таблица 8.1

Значение ρ и K_Θ для отдельных видов растительного сырья

Показатели	Яблоки	Груши	Сливы	Свекла	Виноград
K_Θ	1	1,25	0,75	10	1-9
ρ, Ом·м	12	12	18	9	20

Скорость перемещения растительного сырья в плазмолизаторе:

$$v = \frac{G}{3600 \cdot S \cdot \rho_м}, \text{ м/с}, \tag{8.3}$$

где G – подача технологической линии, кг/ч;

$\rho_м$ – плотность измельченной растительной массы, принимается $\rho_м$ = 500-700 кг/м^3;

S – площадь живого сечения потока сырья, м^2, $S = h \cdot l$;

h – ширина рабочего канала барабана, м, принимается h = 0,5 м.

Длина зоны электрообработки:

$$L = v \cdot t, \text{ м.} \tag{8.4}$$

Частота вращения барабана электроплазмолизатора:

$$n = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot d}, \text{ мин}^{-1}, \tag{8.5}$$

где d – диаметр барабана, принимается d = 0,7 м.

Площадь одного фазного электрода электроплазмолизатора:

$$S_1 = (L - 2x)\frac{h}{3}, \text{ м}^2, \tag{8.6}$$

где x – расстояние между фазными электродами, принимается x = 0,01 м.

Сила тока электроплазмолизатора в одной фазе:

$$I = U_ф \cdot S_1 \frac{K_к}{\rho \cdot l}, \text{ А}, \tag{8.7}$$

где $K_к$ – конструктивный коэффициент, учитывающий влияние утечки тока, для барабанного электроплазмолизатора $K_к$ = 1,1.

Общая мощность электроплазмолизатора:

$$P = 3 \cdot U_ф \cdot I, \text{ Вт.} \tag{8.8}$$

Удельный расход электроэнергии на электроплазмолиз:

$$W = \frac{P}{G}, \text{ Вт·ч/кг.} \tag{8.9}$$

Стоимость единицы продукции:

$$С = W \cdot Ц, \text{ руб.,} \tag{8.10}$$

где $Ц$ – цена электроэнергии, руб./кВт·ч.

Выход сока из растительного сырья для яблок и груш, %:

$$B = 68 \cdot \exp\left[10^{-2}\left(12 - \sqrt[3]{\frac{500 \cdot K_\Theta}{0{,}05 \cdot \Theta \cdot t}} - 10^4 \cdot P_с^2 + 5 \times \right.\right. \\ \left.\left. \times 10^2 \cdot P_c + 16 \cdot 10^{-4} \cdot E\right)\right], \text{ руб.,} \tag{8.11}$$

для свеклы:

$$B = 74 \cdot \exp\left[10^{-2}\left(12 - \sqrt[3]{\frac{500 \cdot K_\Theta}{0{,}05 \cdot \Theta \cdot t}} - 10^6 \cdot P_c^2 + 2 \times \right.\right. \\ \left.\left. \times 10^2 \cdot P_c + 16 \cdot 10^{-4} \cdot E\right)\right], \text{ руб.}, \quad (8.12)$$

где P_c – средний размер при измельчении частиц, мм.

Задания.

1) Рассчитать параметры электроплазмолизатора растительного сырья.

2) Зарисовать эскиз установки по рассчитанным параметрам.

Пример задания. В соответствии с таблицей вариантов определить параметры электроплазмолизатора и выход сока из растительного сырья для двух размеров измельчения соответствующего сырья; начертить эскиз установки по рассчитанным параметрам. Исходные данные:

– температура $\Theta = 30^0$C;

– производительность $G = 103$ кг/ч;

– сырье – груша;

– расстояние между электродами $l = 23$ мм;

– размер измельчения $P_c = 10…20$ мм.

Содержание отчета.

1) Произвести расчёт параметров электроплазмолизатора растительного сырья.

2) Изобразить эскиз установки по рассчитанным параметрам.

Контрольные вопросы

1. Что такое электроплазмолиз?
2. От чего зависит длина зоны электрообработки?
3. Как определяется удельный расход электроэнергии на электроплазмолиз?
4. От каких величин зависит выход сока из растительного сырья?

Практическое занятие 9
РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОСЕПАРАТОРА

Цель: изучить методику расчета электросепаратора.

Наибольший объем разработок в сельскохозяйственной ЭИТ выполнен по очистке и сортированию зерна и семян при помощи электрических полей.

Устройства, предназначенные для разделения сыпучих смесей материалов в электрических полях, получили название электросепараторов (рис. 9.1).

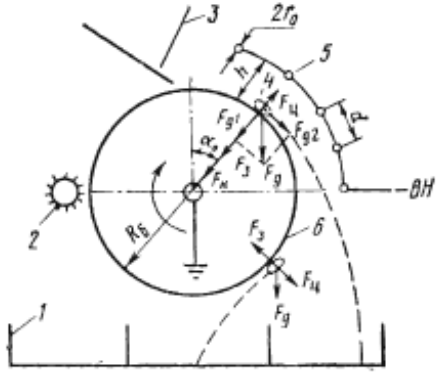


Рис. 9.1. Коронный барабанный электросепаратор:
1 – приемный бункер; 2 – щетка; 3 – загрузочный бункер; 4 – семя;
5 – коронирующие электроды

Их классифицируют: по виду электрического поля – на сепараторы электростатические, коронные, с переменным полем и комбинированные; по конструкции – на камерные, барабанные, транспортерные (ленточные), решетные и др.

По конструктивному назначению электрозерноочистительные машины делятся на решетчатые, камерные и барабанные.

В основе электрической сепарации лежит взаимодействие заряженных семян с электрическим полем, создаваемым электродами. Для этого семена заряжают, используя методы электростатической индукции, осаждения ионов в поле коронного заряда и комбинацию этих способов.

Длина зоны зарядки:

$$l = \frac{W}{60 \cdot \pi \cdot D \cdot n \cdot q}, \text{м}, \tag{9.1}$$

где W – производительность сепаратора, кг/ч;

D – диаметр рабочего барабана, м;

n – число оборотов вращающегося барабана, об/мин;

q – удельная плотность засыпки зерна на поверхности барабана, об/мин.

Оптимальное расстояние между коронирующими проводниками:

$$d = h \cdot \left(0{,}3 + 0{,}04\frac{D}{h}\right), \text{м}, \tag{9.2}$$

где h – расстояние между электродами, м.

Количество коронирующих проводников:

$$N = \frac{l}{d}, \text{шт.} \tag{9.3}$$

Критическая напряженность электрического поля, при которой возникает коронный разряд:

$$E_{\text{К}} = 30{,}3 \cdot 10^5 \left(1 + \frac{0{,}03}{\sqrt{r_0}}\right), \frac{\text{В}}{\text{м}}, \tag{9.4}$$

где r_0 – радиус коронирующего электрода, м, принимается минимальным из условия механической прочности, r_0 = 0,15 мм.

Начальное напряжение при котором возникает коронный разряд:

$$U_0 = E_{\text{К}} \cdot r_0 \left[\frac{\pi \cdot h}{d} - \ln\frac{\pi \cdot r_0}{d}\left(2 - \frac{2 \cdot h}{d}\right)\right], \text{В}. \tag{9.5}$$

Ток коронного разряда с 1 м коронирующего электрода:

$$I_l = \frac{\left(2{,}23 - \frac{1{,}5 \cdot h}{D}\right) \cdot \pi^2 \cdot k \cdot \vartheta \cdot B \cdot U \cdot (U - U_0) - \varepsilon_0}{9 \cdot d^{2\left[\frac{\pi \cdot h}{d} - \ln\frac{\pi \cdot r_0}{d}\left(2 - \frac{2 \cdot h}{d}\right)\right]}}, \frac{\text{А}}{\text{м}}, \tag{9.6}$$

где B – поправочная функция (B = 1,3);

ϑ – функция, зависящая от конфигурации электродов;

U – подводимое к электродам напряжение, В;

h – межэлектродный промежуток, м, принимается h = 0,1 м;

k – подвижность ионов, $k = 2 \cdot 10^{-4}$ м^2/В·с;

ε_0 – диэлектрическая постоянная, $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Функция, зависящая от конфигурации электродов

$$\vartheta = 10^{-2}\left(\frac{2{,}87 - 0{,}74 \cdot h/d}{h/d - 0{,}47}\right). \quad (9.7)$$

Полный ток коронного разряда, А:

$$I = I_l \cdot L \cdot N, \quad (9.8)$$

где L – длина барабана, принимается L = 1 м.

Полезная мощность:

$$P = U \cdot I, \text{ Вт}. \quad (9.9)$$

Мощность, потребляемая высоковольтным источником из сети,

$$P_C = \frac{P}{n}, \text{ Вт}, \quad (9.10)$$

где η – КПД ($\eta = 0{,}6 \ldots 0{,}8$).

Задания.

1) Рассчитать параметры зерноочистительной установки на основе электросепаратора.

2) Зарисовать эскиз установки.

Пример задания. Рассчитать параметры зерноочистительной установки на основе электросепаратора, имеющего следующие исходные данные:

– производительность $П$ = 3,5 т/ч;

– число оборотов n = 50 об/мин;

– межэлектродный промежуток h = 0,1 м;

– высокое напряжение на выходе источника U = 44 кВ.

Содержание отчета.

1) Произвести расчёт параметров зерноочистительной установки.

2) Изобразить эскиз установки.

Контрольные вопросы

1. На чем основаны электрические методы сепарации зерновых смесей?
2. От каких параметров зависит зона зарядки?
3. Как выбирается радиус коронирующего электрода?
4. Как влияет удельная плотность засыпки зерна на зону зарядки?

Практическое занятие 10
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОСЕПАРАТОРА

Цель: изучить методику технологического расчета электросепаратора.

Угол отрыва (градусов) сухого α_1 и влажного α_2 зерна от поверхности вращающегося барабана:

$$\alpha = arccos\frac{P_ц \cdot F_1 \cdot F_2}{P}, \quad (10.1)$$

где P, $P_ц$, F_1, F_2 – соответственно силы тяжести, центробежная и электрические, действующие на зерно в электрическом поле коронного разряда.

Сила тяжести:

$$P = m \cdot g, \text{ Н}, \quad (10.2)$$

где g – ускорение свободного падения, g = 9,81 м/с^2;

m – масса одного зерна:

$$m = \frac{\pi}{6} a \cdot b^2 \cdot \rho, \text{ кг},$$

где a – длина зерна, м;

b – толщина зерна, м;

ρ – объемная плотность зерна, ρ = (1,2…1,3)$\cdot 10^3$ кг/м^3.

Центробежная сила:

$$P_ц = 2\frac{mv^2}{D}, \text{ Н}, \quad (10.3)$$

где D – диаметр барабана, м;

v – линейная скорость перемещения зерна, м/с,

n – число оборотов барабана, n = 40…60 мин$^{-1}$.

Линейная скорость перемещения зерна:

$$v = \frac{\pi n D}{60}. \quad (10.4)$$

Электрическая сила воздействия напряженности электрического поля на заряженное зерно:

$$F_1 = E \cdot Q \cdot \mu, H, \quad (10.5)$$

где E – напряженность электрического поля на поверхности барабана, В/м ($E = 0,7U/h$);

U – подведенное к электродам напряжение, В;

h – межэлектродный промежуток, м, принимается h = 0,1 м;

Q – величина предельного заряда, полученного в поле коронного разряда:

$$Q = \frac{\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot E \cdot a \cdot b}{1 + (\varepsilon - 1)\Phi_1}, \text{Кл}, \quad (10.6)$$

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость материала зерна, Ф/м;

ε_0 – диэлектрическая постоянная, ε_0=8,85·10^{-12} Ф/м;

Φ_1 – коэффициент осевой поляризации зерна, определяется из таблицы по величине отношения b/a;

μ – показатель разрядки, величина безразмерная, изменяется от 0 до 1:

$$\mu = \frac{1 + 2\text{A} - \sqrt{1 + 4\text{A}}}{2\text{A}}, \quad (10.7)$$

$$\text{A} = \frac{R \cdot C \cdot \beta}{4\pi \cdot \varepsilon_0}, \quad (10.8)$$

где R – электрическое сопротивление, зависящее от влажности зерна, Ом;

C – электрическая емкость системы зерно-электрод, Ф;

β – параметр, характеризующий скорость зарядки, 1/Ом·м.

Для практических расчетов принимают

$$\beta = \frac{1}{9} \cdot 10^{-12} \cdot E, \quad (10.9)$$

$$\text{C} = 1{,}4 \cdot 10^{-12} \cdot b^2, \quad (10.10)$$

Электрическая сила взаимодействия заряженного зерна с зарядом барабана:

$$F_2 = \frac{Q^2 \cdot \mu^2}{16 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot x^2}, \quad (10.11)$$

где x – расстояние между центром заряда зерна и поверхностью барабана, принимается $x = b/4$.

Подсчитав все силы для сухого и влажного зерна, определяют углы их отрыва от вращающегося барабана.

Задания.

1) Рассчитать угол отрыва сухих и влажных зерен.
2) Зарисовать эскиз установки с углами отрыва.

Пример задания.

Рассчитать угол отрыва сухих и влажных зерен. Исходные данные:

– длина зерна a = 11,5 мм;

– толщина зерна b = 3 мм;

– относительная диэлектрическая проницаемость зерна ε = 66;

– сопротивление сухого зерна $R_c = 1{,}5 \cdot 10^{10}$ Ом и влажного $R_в = 1{,}5 \cdot 10^{6}$ Ом;

– приложенное к электродам напряжение U = 44 кВ.

Содержание отчета.

1) Произвести расчёт углов отрыва сухих и влажных зерен.

2) Изобразить эскиз установки с углами отрыва.

Контрольные вопросы

1. Методика расчета углов отрыва зерен от поверхности вращающегося барабана электросепаратора.
2. Какие силы действуют на зерно в электрическом поле коронного разряда?
3. От чего зависит электрическая сила воздействия напряженности электрического поля на заряженное зерно?
4. Какова практическая значимость нахождения углов отрыва зерен от поверхности вращающегося барабана электросепаратора?

Практическое занятие 11
ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ БОРЬБЫ С СОРНЯКАМИ

Цель: изучить устройство и принцип действия электроимпульсной установки для борьбы с сорняками.

Установки состоят в основном из трех структурных блоков: транспортного средства, источника электроэнергии и рабочих органов, обеспечивающих подведение высокого напряжения к объектам обработки. Структура электроустановки для борьбы с сорняками с использованием импульсов высокого напряжения представлена на рисунке 11.1.

В качестве первичного источника электрической энергии на установке наиболее предпочтителен вариант с использованием синхронного генератора, имеющего относительно малую

стоимость (по сравнению с асинхронным генератором) и более подходящего для условий работы на данной электроимпульсной установке. Для привода синхронного генератора можно использовать как отдельный двигатель внутреннего сгорания, так и вал отбора мощности колесного трактора. Для уменьшения веса следует применять генератор частотой 400 Гц.

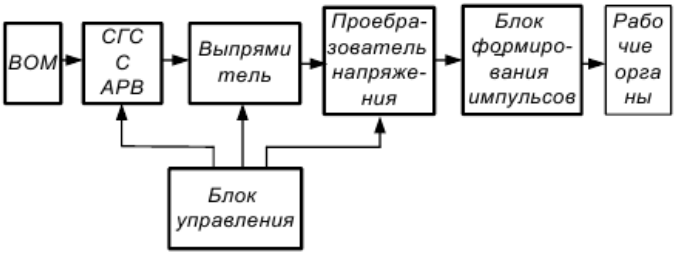


Рис. 11.1. Структурная схема ЭУ для борьбы с сорняками

Повреждение сорных растений в значительной степени зависит от амплитуды прикладываемого напряжения и энергии импульса. Наибольший эффект был получен при воздействии импульса со следующими параметрами: энергия импульса 0,4-2,0 Дж и напряжение 10-15 кВ – для всходов и 2-10 Дж при напряжении 20-30 кВ – для взрослых сорняков. При этом фронт импульса должен быть 0,5-1 мкс, а длительность импульса – 50-100 мкс.

Одним из основных условий использования этих схем в электротехнологических устройствах является максимальный КПД разрядного и зарядного контура. Решающую роль при выборе схем накопителя энергии играет КПД зарядного контура. Схемы накопителей энергии отличаются друг от друга методом формирования и передачи импульсов в рабочий промежуток. По способу накопления энергии они делятся на индуктивные и емкостные.

Электрическая энергия накапливается либо в виде энергии магнитного поля (индуктивный накопитель), либо в виде энергии электрического поля (емкостной накопитель).

При выборе схемы накопителя энергии необходимо учитывать следующие требования:

а) схема накопителя энергии при заданном источнике должна обеспечивать необходимую величину запасенной энергии;

б) коэффициент полезного действия накопителя, определяемый как отношение выделившейся в нагрузке энергии к накопленной,

должен быть не менее 90%;

в) схема накопителя энергии должна быть достаточно простой и допускать использование стандартных элементов энергетического оборудования.

Индуктивный накопитель применим в тех случаях, когда необходима большая энергия (свыше 1 МДж). Существенным недостатком, ограничивающим использование индуктивного накопителя энергии, является большая сложность и громоздкость их цепей питания и управления.

Поэтому целесообразнее использовать схему генератора импульсов с емкостным накопителем энергии.

Структурная схема источника питания и рабочих органов (ЭУ) для борьбы с сорняками приведена на рисунке 11.2.

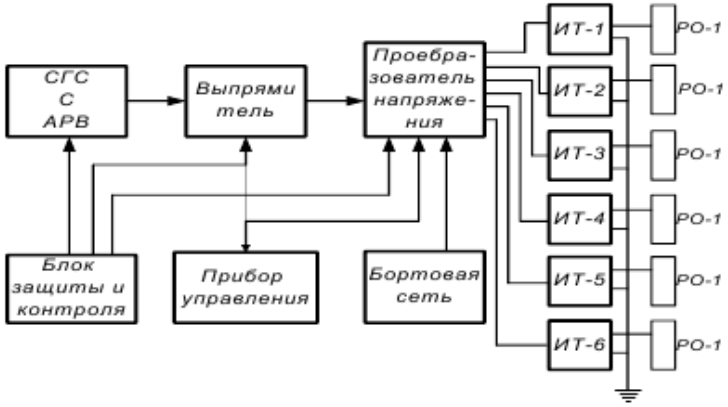


Рис. 11.2. Структурная схема источника питания и рабочих органов ЭУ для борьбы с сорняками

Управляемый преобразователь напряжения предназначен для создания импульсного напряжения требуемой частоты и амплитуды для высоковольтных трансформаторов (ИТ-1…ИТ-6), подключенных на выход преобразователя.

Прибор управления формирует алгоритмы коммутации силовых ключей инвертора напряжения. Бортовая сеть служит для обеспечения питающими напряжениями узлов и блоков прибора управления и силового блока.

Тип и форма рабочих органов для уничтожения всходов и взрослых сорных растений зависит от способов подведения к ним

импульсов высокого напряжения. Возможно использование различных конструкций электродов, в зависимости от условий их применения, видов сорняков и фаз их развития.

Варианты подведения электрической энергии к сорным растениям приведены на рисунке 11.3.

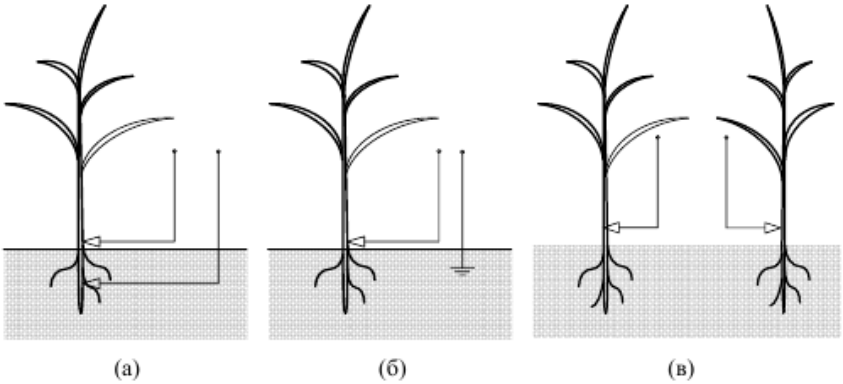


Рис. 11.3. Варианты подведения электрической энергии к сорным растениям

(а) – навесной электрод – стебель растения – корневая система – заглубленный электрод; (б) – навесной электрод – стебель растения – корневая система – почва – заглубленный электрод; (в) – первый навесной электрод – стебель первого растения – корневая система первого растения – почва – корневая система второго растения – стебель второго растения – второй навесной электрод

Наиболее эффективным представляется подведение к корневой системе (рис. 11.3, а), так как в этом случае повреждается основной центр жизнеобеспечения и размножения растения.

Однако в этом случае придется использовать заглубленные в почву электроды, что приведет к увеличению затрат на перемещение агрегата по полю и ряду других нежелательных процессов. Второй наиболее распространенный способ подведения электрической энергии к сорным растениям осуществляется через цепь «навесной электрод – стебель растения – корневая система – почва – заглубленный электрод» (рис. 11.3, б).

Недостатки: дополнительные затраты энергии на перемещение заглубленного электрода (электродов) в почве. Однако эти затраты можно уменьшить, используя в качестве заглубленного в почву электрода дисковый вращающийся нож, который имеет

сравнительно низкое тяговое сопротивление перемещению.

Третий способ подведения электрической энергии к сорным растениям осуществляется через два навесных электрода (рис. 11.3, в) по цепи «первый навесной электрод – стебель первого растения – корневая система первого растения – почва – корневая система второго растения – стебель второго растения – второй навесной электрод». Однако эта цепь обработки имеет наибольшее сопротивление и для повреждения сорного растения необходимо подводить к навесным электродам двойную амплитуду напряжения, что усложняет конструкцию установки и условия её эксплуатации (повышенные требования к изоляции конструктивных частей ЭУ, электробезопасности, а также увеличение стоимости источника электроснабжения. Кроме того при этом способе подведения энергии к растениям, оба навесные электрода должны быть в постоянном контакте с обрабатываемыми растениями.

Как только один из электродов теряет контакт с растением, обработка сорняков, находящихся в контакте с другим электродом, прекращается.

Технологический процесс уничтожения сорных растений разделяют на два этапа. На первом этапе уравнивают значения электрических проводимостей сорных растений. Для этого сорные растения подвергают воздействиям электрических импульсов высокого напряжения малой энергии (амплитуда – 30-35 кВ, энергия – 0,05-0,1 Дж). При этом мембраны клеток сорных растений оказываются под воздействием электрического поля высокой напряженности. Из-за более высокого тургорного давления, больших размеров и малой суммарной толщины мембран в центральных частях стеблей и корней сорных растений, по сравнения с клетками на периферии стеблей и корней, пробиваются мембраны клеток в центре стебля и корня сорного растения. В результате этого клеточное вещество выходит в межклеточник, сопротивления стеблей и корней различных сорных растений, контактирующих с рабочим органом устройства, уменьшаются и становятся приблизительно одинаковыми, и соответствуют проводимости протоплазмы разрушенных клеток сорных растений.

Однако разрушения всех структур сорного растения на первом этапе технологической операции не происходит, так как энергия импульса незначительна, и в результате воздействия высокой

напряженности разрушаются только мембраны растительных клеток в средней части стебля или корня растения, и если процесс уничтожения сорного растения прекратить, то через небольшое время после снятия воздействий процессы регенерации живых тканей в сорных растениях могут полностью восстановить свои функции.

На втором этапе производят полное уничтожение сорных растений. Для этого воздействуют на сорные растения электрическими импульсами пониженного напряжения и повышенной энергии импульсов (амплитуда – 10-15 кВ, энергия – 5-20 Дж). Поскольку электрическая проводимость сорных растений приблизительно одинакова, энергия высоковольтных импульсов распределяется равномерно по всем сорным растениям, контактирующим с рабочим органом устройства. В результате этого эффективность уничтожения всех сорных растений возрастает.

Устройство уничтожения сорных растений (рис. 11.4) размещено на тяговом мобильном подвижном агрегате *1* и состоит из источника электроэнергии высокого напряжения *2*, несущей рамы *3*, установленной в передней части тягового мобильного подвижного агрегата *1* по ходу его движения.

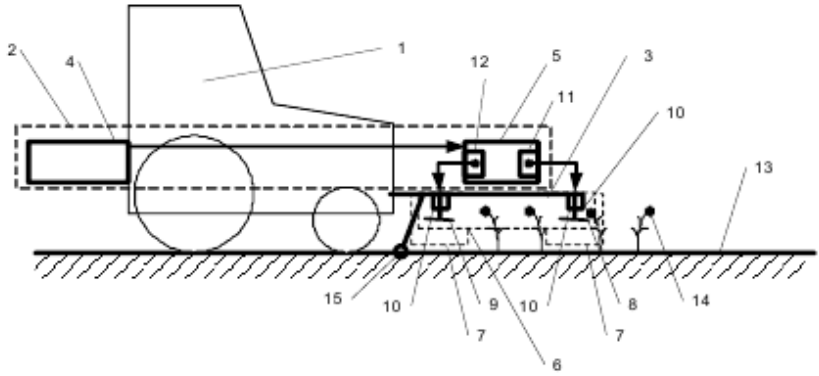


Рис. 11.4. Устройство для уничтожения сорных растений:
1 – тяговый мобильный агрегат; 2 – источник электроэнергии высокого напряжения; 3 – несущая рама; 4 – первичный источник электроэнергии; 5 – преобразователи; 6 – электродные секции; 7 – защитные экраны; 8 – передний рабочий орган; 9 – задний рабочий орган; 10 – изоляторы; 11, 12 – выходы преобразователей; 13 – возделываемое угодье; 14 – сорные растения; 15 – заземляющий электрод

Источник электроэнергии высокого напряжения *2* выполнен в виде первичного источника электроэнергии *4* и преобразователей электроэнергии высокого напряжения *5* (рис. 11.4).

На несущей раме *3* размещены электродные секции *6*, преобразователи электроэнергии высокого напряжения *5* и защитные экраны *7*. В каждую электродную секцию *6* входят передний рабочий орган *8* и задний рабочий орган *9*, закрепленные на несущей раме *3* с помощью изоляторов *10*. Каждый преобразователь электроэнергии высокого напряжения *5* имеет два выхода *11* и *12*. Выход первичного источника электроэнергии *2* подключен к входам преобразователей электроэнергии высокого напряжения *5*. Выходы *11* преобразователя электроэнергии высокого напряжения *5* обеспечивают выработку импульсов амплитудой 30-35 кВ и энергией 0,05-0,1 Дж и частотой следования импульсов 800-1200 Гц. Выход *12* преобразователя электроэнергии высокого напряжения *5* обеспечивает выработку импульсов амплитудой 10-15кВ, энергией 5-20 Дж и частотой следования импульсов 400-800 Гц.

Выходы *11* преобразователя электроэнергии высокого напряжения *5* подключены к переднему рабочему органу *8*. Выход *12* преобразователя электроэнергии высокого напряжения *5* подключен ко второму рабочему органу *9*.

При движении агрегата *1* по возделываемому угодью *13* сорные растения *14* контактируют вначале с первым рабочим органом *8* и подвергаются воздействию электрического импульса амплитудой 30-35 кВ и энергией 0,05-0,1 Дж и частотой следования импульсов 800-1200 Гц. Параметры энергии на рабочем органе *8* не достаточны для полного уничтожения сорных растений, контактирующих с рабочим органом. Тем не менее, электрические импульсы рабочего органа *8* воздействуют на внутреннюю структуру сорных растений и увеличивают электрические проводимости сорных растений *14* до практически одинаковой величины, определяемой проводимостью протоплазмы разрушенных клеток сорных растений. Затем контакт сорных растений *14* с рабочим органом *8* прекращается и сорные растения *14* начинают контактировать с рабочим органом *9*, подвергаясь воздействию электрических импульсов амплитудой 10-15 кВ и энергией 5-20 Дж, и частотой следования импульсов 400-800 Гц, которые завершают процессы уничтожения сорных растений *14*. Поскольку в результате

контакта с первым рабочим органом *8* значения электрических проводимостей сорных растений *14* приблизительно уравнены, «шунтирование» сорных растений с низкой электрической проводимостью сорными растениями с высокой электрической проводимостью не происходит и на отдельные сорные растения *14* поступает приблизительно одинаковое количество энергии, т.е. энергия (ток) электрических импульсов распределяется равномерно по всем сорным растениям *14*, контактирующим с рабочим органом *9*. В результате этого все сорные растения *14*, контактирующие с рабочим органом *9*, эффективно уничтожаются.

Задания.

1) Изучить структуру электроустановок для борьбы с сорняками.

2) Изучить устройство источника питания электроимпульсной установки для борьбы с сорняками.

3) Изучить устройство и технологический процесс работы электроимпульсной установки для борьбы с сорняками.

Содержание отчета.

1) Описание устройства основных узлов и принцип действия электроимпульсной установки для борьбы с сорняками.

2) Схема электроустановки.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные узлы электроимпульсной установки для борьбы с сорняками.
2. Какие требования необходимо учитывать при выборе накопителя энергии?
3. Когда эффективно применять индуктивный накопитель?
4. Какие варианты подведения электрической энергии к сорным растениям вам известны?
5. Поясните преимущества и недостатки различных вариантов подведения электрической энергии к сорным растениям.
6. Расскажите технологический процесс уничтожения сорных растений.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ашмарин, М. Я. Электротехнологии и энергосбережение в сельском хозяйстве : методические указания по выполнению практических занятий / сост. М. Я. Ашмарин, А. А. Лысаков. – Ставрополь : Изд-во СтГАУ «АГРУС», 2007. – 34 с.

2. Баев, В. И. Сорные растения как объект электрической прополки: биологические особенности и электрофизические свойства : монография / В. И. Баев, Т. П. Бренина, Д. С. Елисеев, И. В. Юдаев. – Волгоград : Станица-2, 2004. – 128 с.

3. Басов, А. М. Электротехнология / А. М. Басов, В. Г. Быков, А. В. Лаптев, В. Б. Файн. – М. : Агропромиздат, 1985. – 256 с.

4. Беззубцева, М. М. Электротехнологии и электротехнологические установки в АПК : учеб. пособие / М. М. Беззубцева, В. С. Волков, В. В. Зубков. – СПб. : СПбГАУ, 2012. – 244 с.

5. Беззубцева, М. М. Энергоэффективные электротехнологии в агроинженерном сервисе и природопользовании : учеб. пособие / М. М. Беззубцева, В. С. Волков, А. В. Котов. – СПб. : СПбГАУ, 2012. – 240 с.

6. Гайдук, В. Н. Практикум по электротехнологии / В. Н. Гайдук, В. Н. Шмигель. – М. : Агропромиздат, 1989. – 175 с.

7. Живописцев, Е. Н. Электротехнология и электрическое освещение / Е. Н. Живописцев, О. А. Косицин. – М. : Агропромиздат, 1990. – 303 с.

8. Карасенко, В. А. Электротехнология / В. А. Карасенко, Е. М. Заяц, А. Н. Баран. – М. : Колос, 1992. – 304 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие ……..... 3
Основные понятия и определения 4
Практическое занятие 1
Расчёт параметров электрического поля коронного разряда 5
Практическое занятие 2
Расчёт напряжённости в различных точках межэлектродного промежутка электрического поля коронного разряда ……..... 10
Практическое занятие 3
Расчёт заряда и электрических сил, действующих на зерно в поле коронного разряда 13
Практическое занятие 4
Расчёт вращающего электрического момента, действующего на зерно в электростатическом поле 15
Практическое занятие 5
Расчёт установки для обработки грубых кормов электрическим током …….. 18
Практическое занятие 6
Расчёт магнитострикционного преобразователя …….... 20
Практическое занятие 7
Расчет установок электрогидравлического эффекта …….. 24
Практическое занятие 8
Расчет параметров электроплазмолизатора растительного сырья……. 27
Практическое занятие 9
Расчет электросепаратора ……. 31
Практическое занятие 10
Технологический расчет электросепаратора …….. 34
Практическое занятие 11
Электроимпульсная установка для борьбы с сорняками …….. 36
Рекомендуемая литература ……... 44

Учебное издание

Фатхутдинов Марат Рафаилевич
Крючин Павел Владимирович

СОВРЕМЕННОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ В АПК

Методические указания

Отпечатано с готового оригинал-макета
Подписано в печать 16.12.2019. Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л. 2,67; печ. л. 2,88.
Тираж 50. Заказ №438.

Редакционно-издательский отдел ФГБОУ ВО Самарского ГАУ
446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2
Тел.: 8 939 754 04 86, доб. 608
E-mail: ssaariz@mail.ru

Министерство сельского хозяйства
Российской Федерации
Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Самарский государственный
аграрный университет»

Кафедра «Электрификация и автоматизация АПК»

Т. С. Гриднева, П. В. Крючин

АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Методические указания
для выполнения практических работ

Кинель
РИО Самарского ГАУ
2019

УДК 631.171
Г83

Гриднева, Т. С.

Г83 Автоматизация сельскохозяйственного производства : методические указания / Т. С. Гриднева, П. В. Крючин. – Кинель : РИО Самарского ГАУ, 2019. – 71 с.

В методических указаниях представлены материалы, необходимые для проведения практических работ.

Учебное издание предназначено для студентов, обучающихся по направлению 35.04.06 «Агроинженерия».

© ФГБОУ ВО Самарский ГАУ, 2019
© Гриднева Т. С., Крючин П. В., 2019

ПРЕДИСЛОВИЕ

Методические указания составлены на основании рабочей программы по дисциплине «Автоматизация сельскохозяйственного производства».

В методических указаниях приведены сведения о законах регулирования; принципы составления релейно-контактных схем управления технологическими процессами; приведены примеры схем управления на базе релейно-контактных схем. Рассмотрены программируемые реле серии ПР114 «ОВЕН» и LOGO! SIEMENS, приведены примеры реализации схем управления с их помощью. Приведено описание автоматизированных систем управления водоснабжением и весовым дозированием сыпучих материалов.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению 35.04.06 «Агроинженерия».

Практическая работа № 1
ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Цель работы: изучить основные законы регулирования в системах автоматического регулирования, изучить основы работы и настройки ПИД-регуляторов.

Законом регулирования является зависимость между управляющим воздействием u и сигналом рассогласования ε:

$$u = f(\varepsilon). \quad (1.1)$$

Управляющее воздействие формируется в соответствии с заложенным в регулятор законом регулирования.

Для регулирования в объектах управления, как правило, используют типовые регуляторы, названия которых соответствуют реализуемым ими законам. Регуляторы непрерывного действия – это регуляторы, у которых представление входных и выходных величин, а также выполнение всех вычислительных операций осуществляется непрерывно во времени.

Регуляторы непрерывного действия являются наиболее распространенными и совершенными и могут быть:

- пропорциональные или П-регуляторы;
- интегральные или И-регуляторы;
- пропорционально-интегральные или ПИ-регуляторы;
- пропорционально-дифференциальные или ПД-регуляторы;
- пропорционально-интегрально-дифференциальные или ПИД-регуляторы.

П-регулятор – пропорциональный регулятор. Передаточная функция П-регулятора:

$$W(p) = k_p, \quad (1.2)$$

где k_p – коэффициент передачи регулятора.

Переходная характеристика регулятора имеет вид (рис. 1.1).

Принцип действия заключается в том, что регулятор вырабатывает управляющее воздействие на объект пропорционально величине ошибки (чем больше ошибка ε, тем больше управляющее воздействие u).

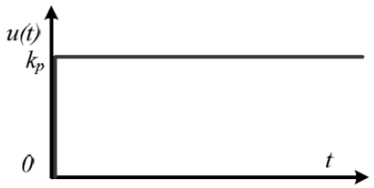


Рис. 1.1. Переходная характеристика П-регулятора

И-регулятор – интегрирующий регулятор – воздействует на регулирующий орган пропорционально интегралу отклонения управляемой величины от заданного значения. Передаточная функция И-регулятора:

$$W(p) = \frac{k_p}{p}. \quad (1.3)$$

Переходная характеристика регулятора имеет вид (рис. 1.2).

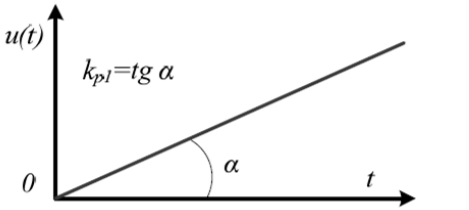


Рис. 1.2. Переходная характеристика И-регулятора

Управляющее воздействие пропорционально интегралу от ошибки.

ПИ-регулятор или пропорционально-интегральный регулятор. ПИ-регулятор оказывает воздействие на регулирующий орган пропорционально отклонению и интегралу отклонения управляемой величины. Передаточная функция ПИ-регулятора:

$$W(p) = \frac{k_p(T_u p + 1)}{T_u p}, \quad (1.4)$$

где T_u – постоянная времени интегрирования – это время, за которое пропорциональная составляющая удваивается за счет интегральной составляющей.

Переходная характеристика регулятора имеет вид (рис. 1.3).

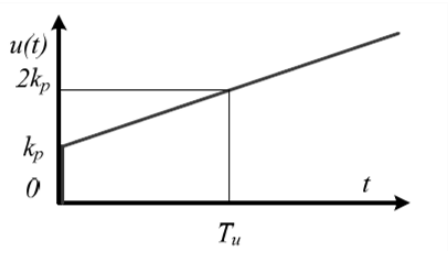


Рис. 1.3. Переходная характеристика ПИ-регулятора

ПД-регулятор, пропорционально-дифференциальный регулятор оказывает воздействие на регулирующий орган пропорционально сигналу рассогласования и скорости его изменения. Передаточная функция ПД-регулятора:

$$W(p) = k_p(T_д p + 1), \qquad (1.5)$$

где $T_д$ – постоянная времени дифференцирования, которая представляет собой величину составляющей управляющего воздействия *u(t)*, пропорциональную скорости изменения сигнала рассогласования.

Переходная характеристика регулятора имеет вид (рис. 1.4).

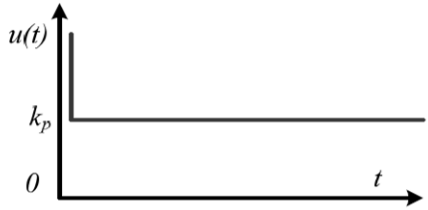


Рис. 1.4. Переходная характеристика ПД-регулятора

ПИД-регулятор, или пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор – воздействует на регулирующий орган пропорционально сигналу рассогласования, интегралу сигнала рассогласования и скорости изменения сигнала рассогласования. Передаточная функция ПИД-регулятора:

$$W(p) = k_p \frac{T_u T_д p^2 + T_u p + 1}{T_u p}. \quad (1.6)$$

Переходная характеристика регулятора имеет вид (рис. 1.5).

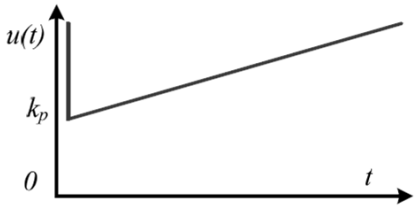


Рис. 1.5. Переходная характеристика ПИД-регулятора

Наиболее часто используется ПИД-регулятор, поскольку он сочетает в себе достоинства всех трех типовых регуляторов.

При выборе закона управления и типа регулятора необходимо выбрать такой тип регулятора, который при минимальной стоимости и максимальной надежности обеспечивал бы заданное качество регулирования. Могут быть выбраны релейные, непрерывные или дискретные (цифровые) типы регуляторов. Для того, чтобы выбрать тип регулятора и определить его настройки необходимо знать:

- статические и динамические характеристики объекта управления;
- требования к качеству процесса регулирования;
- показатели качества регулирования для непрерывных регуляторов;
- характер возмущений, действующих на процесс регулирования.

Выбор типа регулятора обычно начинается с простейших двухпозиционных регуляторов и может заканчиваться самонастраивающимися микропроцессорными регуляторами

Рассматриваемая система автоматического управления включает в себя измеритель-регулятор ТРМ-210.

Измеритель-регулятор ТРМ-210 содержит экран текущего значения температуры; экран значения уставки; кнопки задания уставки; индикаторы выходов *К1* и *К2* прибора; кнопку программирования и задания режимов работы прибора.

На передней панели регулятора расположены светодиоды, которые показывают состояние, в котором находится прибор:

- «СТОП» – регулятор остановлен;
- «АН» – идёт автонастройка;
- «РУЧ» – прибор находится в режиме ручного управления;
- «RS» – прибор осуществляет обмен данными с сетью RS-485;
- «К1» – включено ВУ1;
- «К2» – включено ВУ2;
- «AL» – регулируемая величина выходит за заданные пределы;
- «LBA» – обнаружен обрыв в цепи регулирования.

На передней панели также расположены следующие кнопки.

Кнопки служат для:
- перехода между пунктами меню;
- увеличения и уменьшения значения параметра.

Кнопка осуществляет:
- вход в МЕНЮ программирования;
- вход в нужную группу параметров;
- циклическое пролистывание параметров в группе (при каждом нажатии кнопки значение текущего параметра записывается в память).

Пример 1.1. Снятие переходной характеристики объекта управления.

Стенд для снятия переходной характеристики содержит ПИД-регулятор ТРМ210 (рис. 1.6), эмулятор печи ЭП10, используемый в качестве объекта управления с встроенным нагревателем мощностью 10 Вт и датчиком температуры ТСМ 50М. Измеряемый и регулируемый параметр – температура внутри ЭП10. Управление нагревателем ЭП10 осуществляется посредством выходного элемента регулятора, датчик присоединен к входу регулятора.

После включения питания лабораторной установки и при отключенном питании эмулятора печи *ЭП10 н*еобходимо перевести регулятор в двухпозиционное регулирование. Для этого необходимо нажать и держать кнопку «ПРОГ» 3 с, далее кнопками

выбрать группу ***Adv***, кратковременно нажимать «ПРОГ» до появления параметра ***CntL*** (на красном экране). Данный параметр имеет 2 значения:

- ***Pid*** – ПИД-регулятор;
- ***onoF*** – двухпозиционный регулятор.

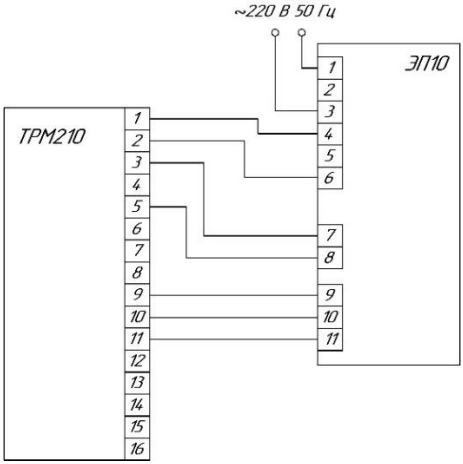


Рис. 1.6. Схема электрических соединений стенда

Выбрать необходимое значение и нажать «ПРОГ», затем выбрать ***LvoP*** и кратковременно нажать 2 раза «ПРОГ».

3) Снять переходную характеристику. Для этого необходимо включить процесс регулирования, войти в режим настройки регулятора (зажать кнопку «ПРОГ»), найти параметр ***r-5*** (он имеет два значения: ***rUn*** – запуск и ***StoP*** – остановка) и выберите с помощью значение ***rUn***. Выйти из меню настройки можно при помощью кнопки «ПРОГ» (аналогично запуску производится и остановка при помощи выбора значения ***StoP*** параметра ***r-5***). Процесс регулирования запущен и можно снимать показания температуры.

Изменять настройки регулятора можно только при остановке процесса регулирования.

4) Полученные в ходе измерения результаты записать в таблицу 1.1.

Таблица 1.1

Результаты измерений переходной характеристики

t, с	0	5	10	15	…	∞
τ, °С ($\tau_{уставки}$ = …)						→$\tau_{уставки}$

5) По результатам таблицы 1.1 построить график переходного процесса в объекте управления.

6) На основании полученного графика исследовать объект управления и рассчитать основные параметры: $T_{ОУ}$ – постоянная времени апериодического звена, τ – время «чистого запаздывания», $K_{ОУ}$ – коэффициент усиления объекта управления. Для этого на полученном графике откладываются две точки А и В, отстоящие по амплитуде на 15 % от нулевого и установившегося значения, соответственно, т.е. ординаты точек А, и В равны соответственно 0,15 и 0,85 (рис. 1.7).

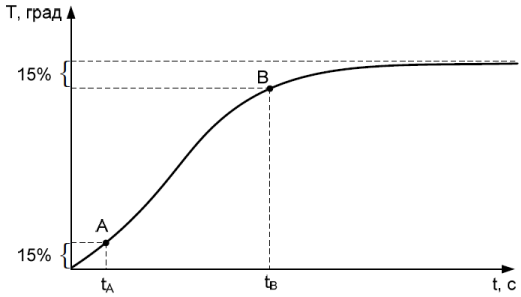


Рис. 1.7. Определение $T_{ОУ}$ и τ

$$T_{\text{ОУ}} = \frac{t_B - t_A}{2}. \quad (1.7)$$

$$\tau = t_A. \quad (1.8)$$

Коэффициент усиления $K_{ОУ}$ – это отношение значения выходной величины объекта управления y (в данном случае температура) к входной величине x (электрическая мощность нагревательного элемента печи):

$$K_{0у} = \frac{y}{x}. \quad (1.9)$$

$$P = \frac{U^2}{R}. \quad (1.10)$$

где U – напряжение, U = 220 В;

R – сопротивление нагревательного элемента печи, Ом.

7) Если соблюдается условие $\frac{\tau_{0у}}{T_{0у}} \geq 0$, то в качестве регулятора можно использовать ПИД-регулятор.

8) Найти настройки ПИД-регулятора. Переходная характеристика объекта управления представлена в виде апериодического звена 1-го порядка, и поэтому пропорциональную, интегральную и дифференциальную составляющие находят по формулам:

$$k_p = \frac{0{,}95T_{0у}}{K_{0у}\tau_{0у}}. \quad (1.11)$$

$$T_u = 2{,}4T_{0у}. \quad (1.12)$$

$$T_д = 0{,}4\tau_{0у}. \quad (1.13)$$

9) Необходимо проверить адекватность полученных настроек ПИД-регулятора. Ввести настройки в регулятор. Для этого необходимо остановить процесс регулирования (выбрать значение ***StoP*** параметра ***r-5***). Перевести регулятор из двухпозиционного регулирования в ПИД-регулирование (см. п.2). Далее в группе меню ***Adv*** установить значения найденных по формулам (1.11) (1.12) и (1.13) параметров: ***P*** (пропорциональная составляющая), ***i*** (интегральная составляющая) и ***d*** (дифференциальная составляющая). Выйти из меню настройки.

10. Вновь измерить переходную характеристику и результаты измерений занести в таблицу 2. Построить график регулирования температуры по полученным данным. Снимать процесс поддержания температуры обязательно в диапазоне близком к установленному значению (несколько полуволн регулирования) (рис. 1.8).

Таблица 1.2

Результаты измерений процесса регулирования температуры печи

t, с	0	5	10	15	…	∞
τ, °С ($\tau_{уставки}$ = …)						→$\tau_{уставки}$

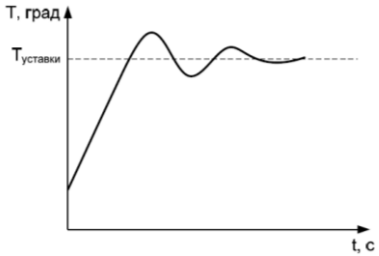


Рис. 1.8. График регулирования температуры с полученными настройками

Контрольные вопросы

1. Что такое автоматический регулятор?
2. Назовите виды регуляторов непрерывного действия
3. Что нужно знать, чтобы выбрать тип регулятора и рассчитать его параметры настройки?
4. Опишите принцип действия П-регулятора.
5. Опишите принцип действия И-регулятора.
6. Опишите принцип действия ПД-регулятора.
7. Опишите принцип действия ПИД-регулятора.

Практическая работа № 2
ИЗУЧЕНИЕ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНЫХ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Цель работы: изучить основные принципы составления релейно-контактных схем управления технологическими процессами.

Общие сведения. Релейно-контактные схемы широко используются в технике автоматического управления. В них используются переключающие устройствам автоматики, к которым относятся реле, контактные и бесконтактные устройства управления.

Реле – это коммутационное устройство, которое при воздействии каких-либо внешних факторов скачкообразно изменяет свое состояние. Реле состоит из воспринимающего органа (на него непосредственно действуют входные сигналы), исполнительного органа, предназначенного для передачи сигналов во внешнюю цепь, и промежуточного органа, преобразующего сигнал от воспринимающих органов к исполнительным. Электрические реле

служат для включения и отключения электрических цепей, размножения контактов, блокировки, памяти и т.д.

Электромагнитные реле. Работа электромагнитных реле основана на использовании электромагнитных сил, возникающих в металлическом сердечнике при прохождении тока по виткам его катушки. Электромагнитное реле состоит из контактов с пружиной (рис. 2.1); магнитопровода с сердечником; якоря с латунным штифтом отлипания; катушки с обмоткой.

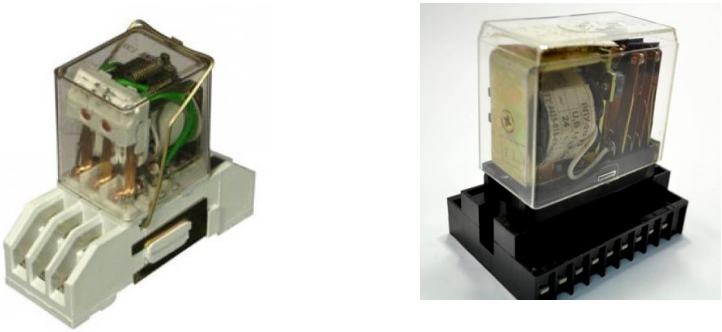


Рис. 2.1. Конструкции электромагнитного реле

Герконовые реле (реле на магнитоуправляемых контактах). Герконовое реле – это электромеханическое устройство, представляющее собой пару ферромагнитных контактов, запаянных в герметичную стеклянную колбу. Принцип действия герконов основан на использовании сил взаимодействия, возникающих в магнитном поле между ферромагнитными телами. При этом силы вызывают деформацию и перемещение ферромагнитных токопроводов электронов. Магнитоуправляемый контакт (геркон) представляет собой электрический аппарат, изменяющий состояние электрической цепи посредством механического размыкания или замыкания ее при воздействии управляющего магнитного поля на его элементы, совмещающие функции контактов, пружин и участков электрической и магнитной цепей.

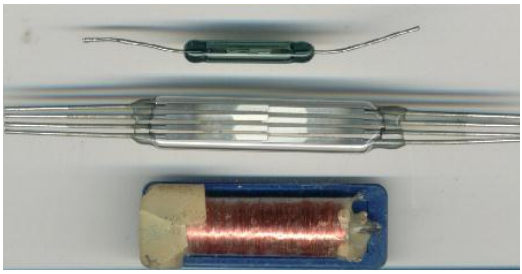


Рис. 2.1. Реле на магнитоуправляемых контактах

Электронные реле времени. Реле времени (рис. 2.3) – реле, предназначенное для создания независимой выдержки времени и обеспечения определенной последовательности работы элементов схемы. Реле времени применяется в случаях, когда необходимо автоматически выполнить какое-то действие не сразу после появления управляющего сигнала, а через установленный промежуток времени.

Реле времени отрабатывают необходимую задержку времени в соответствии с программой. При этом сам микроконтроллер может тактироваться с помощью встроенного кварцевого резонатора или RC-генератора.

Контактные устройства управления. Магнитный пускатель (рис. 2.4) является коммутационным аппаратом и относится к семейству электромагнитных контакторов, позволяющих коммутировать мощные нагрузки постоянного и переменного тока, и предназначен для частых включений и отключений силовых электрических цепей.

Рис. 2.3. Электронное реле времени

Рис. 2.4. Магнитный пускатель

Магнитные пускатели применяются в основном для пуска, останова и реверсирования трехфазных асинхронных электродвигателей, а также применяются в схемах дистанционного управления освещением, управления компрессорами, насосами, кран-балками, печами, кондиционерами, ленточными конвейерами и т.д.

Принцип работы магнитного пускателя: напряжение питания подается на катушку пускателя, в катушке возникает магнитное поле, за счет которого вовнутрь катушки втягивается металлический сердечник, к которому закреплена группа силовых (рабочих) контактов, контакты замыкаются, и через них начинает течь электрический ток. Управление магнитным пускателем осуществляется кнопками «Пуск», «Стоп», «Вперед» и «Назад».

Часто к магнитному пускателю устанавливают блок контактов. Хотя блок контактов и не является основной частью магнитного пускателя и не всегда он используется, но, если пускатель работает в схеме, где должны быть задействованы дополнительные контакты этого пускателя, например, реверс электродвигателя, сигнализация работы пускателя или включение дополнительного оборудования пускателем, то для размножения контактов как раз и служит блок контактов.

Типовые звенья схем автоматизации на базе релейно-контактных элементов.

Для составления схем управления технологическими процессами часто используют типовые звенья, реализованные в частном случае на базе релейно-контактных элементов. Выделяют четыре самых распространенных звена.

1. Звено нереверсивной схемы управления. Состоит из двух кнопок управления и магнитного пускателя (рис. 2.5). Предназначено для ручного управления включением и отключением электроустановок (двигателей, нагревателей систем освещения и др.).

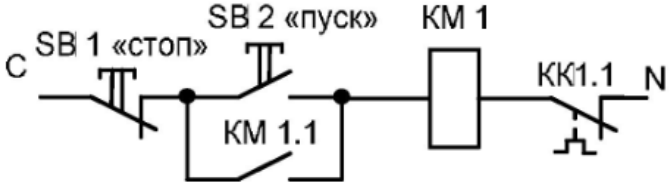


Рис. 2.5. Нереверсивная схема управления электродвигателем

При нажатии на кнопку пуска SB2 контакт кнопки замыкает цепь с катушкой магнитного пускателя КМ1, который в свою очередь силовыми контактами подаёт питание к потребителю (на схеме не обозначены силовые контакты), а дополнительным контактом КМ1.1 шунтирует кнопку пуска. При этом магнитный пускатель включает себя на «самоудержание». Для отключения потребителя необходимо нажать кнопку «стоп» SB1, что приведет к разрыву питающей цепи и размыканию катушки магнитного пускателя. Защита электродвигателя от перегрузки в представленной схеме управления реализуется посредством размыкающего контакта теплового реле КК1.1.

Звено реверсивной схемы управления. Состоит из трех кнопок управления и двух магнитных пускателей (рис. 2.6). В общем случае может использоваться для взаимоисключающего управления работой 2-х механизмов. Реверсивная схема в первую очередь предназначена для реверсивного управления трехфазным асинхронным электродвигателем. Схема содержит 2 блокировки, исключающие одновременную работу 2-х магнитных пускателей.

При нажатии на кнопку пуска «вперед» SB2 один контакт кнопки замыкает цепь с катушкой магнитного пускателя КМ1, что приводит к включению электродвигателя, другой наоборот разрывает цепь с катушкой магнитного пускателя КМ2, тем самым не дает возможности одновременной подачи питания на две цепи управления. При этом дополнительным контактом КМ1.1 шунтирует кнопку пуска, тем самым обеспечивая питания первой катушки магнитного пускателя.

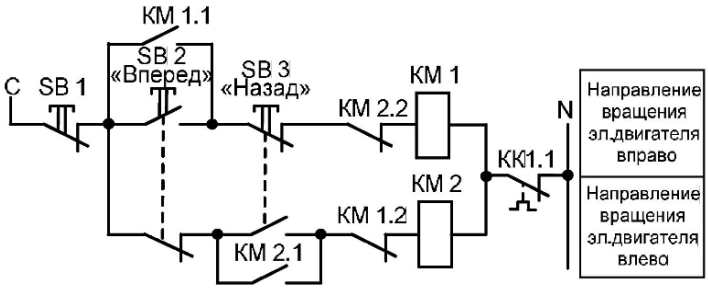


Рис. 2.6. Реверсивная схема управления электродвигателем

При нажатии на кнопку пуска «назад» SB3 разрывается цепь питания катушки магнитного пускателя КМ1, и она отключается, одновременно с этим замыкается цепь с КМ2. Это приводит к включению электродвигателя к сети, только с другим чередованием фаз.

Для отключения электродвигателя от сети необходимо нажать кнопку «стоп» SB1, что приведет к разрыву питающей цепи и размыканию одной из катушек магнитного пускателя. Для защиты от одновременного включения двух катушек предусмотрены блокировочные контакты КМ2.2 и КМ1.2.

Пускосигналъное звено. Предназначено для предупреждения персонала о запуске электроустановки либо электродвигателей технологической линии. Состоит из двух кнопок управления, магнитного пускателя, промежуточного реле и реле времени (рис. 2.7).

При нажатии на кнопку пуска SB2 питание подается одновременно на катушку промежуточного реле KV1, реле времени КТ1 и через его замкнутый контакт КТ1.1 на звонок. При этом промежуточное реле служит только для шунтирования кнопки SB2 контактом KV1.1. Реле времени имеет два контакта, работа которых определяется временем установки. Так контакт КТ1.1 в первоначальный момент замкнут (КТ1.2 разомкнут), питание непрерывно подается на звонок НА1. После установленного времени реле срабатывает и замыкается контакт КТ1.2 (КТ1.1 разомкнут), что приводит к подаче питания на катушку магнитного пускателя КМ1, которая в свою очередь включает механизм.

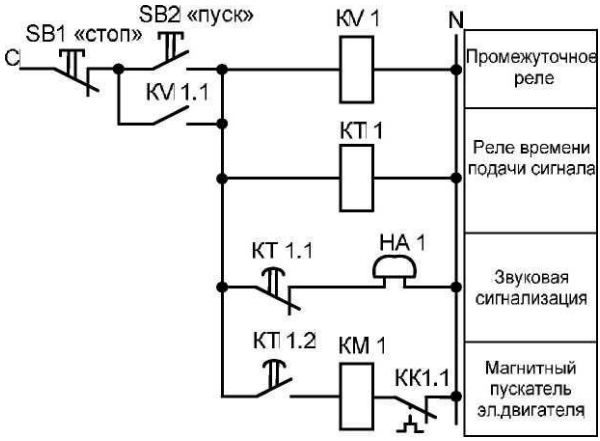


Рис. 2.7. Схема пускосигнального звена

Звено «Рабочий стоп». Предназначено для обеспечения технологической остановки поточной линии с целью очистки тракта. Состоит из одной кнопки управления, промежуточного реле и реле времени (рис. 2.8). Работает следующим образом: при нажатии кнопки SB1 «Рабочий стоп» питание подается на промежуточное реле KV1 и реле времени KT1. При этом одним контактом промежуточного реле KV1.1 происходит шунтирование кнопки SB1, а другим KV1.2 происходит размыкание цепи питания магнитного пускателя головного механизма. Это приводит к отключению механизма, подающего продукт на линию, тем самым происходит очистка тракта.

Роль реле времени в данной схеме заключается в отключении питания всей схемы управления с задержкой по времени, необходимой для полной очистки механизмов от продукта. Так контакт KT1.1 размещается в схеме управления, в зависимости от технологического процесса, либо в цепи с катушкой магнитного пускателя первого включенного механизма, либо в цепи с промежуточным реле KV1, контакт которого шунтирует кнопку питания SB2 схемы управления.

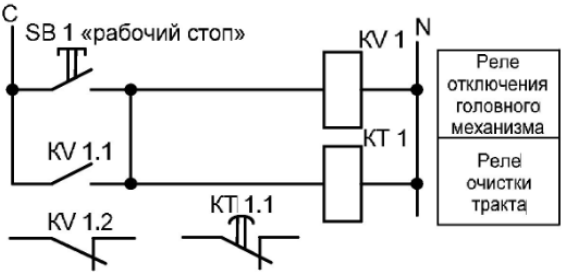


Рис. 2.8. Схема звена «Рабочий стоп»

Контрольные вопросы

1. Что такое реле?
2. Опишите схему звена нереверсивной схемы управления.
3. Опишите схему звена реверсивной схемы управления.
4. Опишите схему пускосигналъного звена.
5. Опишите схему звена Звено «Рабочий стоп».

Практическая работа № 3
ИЗУЧЕНИЕ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНЫХ СХЕМ

Цель работы: изучить пример схемы управления на базе релейно-контактных схем.

Релейно-контактные схемы широко используются в технике автоматического управления и лежат в основе построения систем управления с использованием микропроцессорных управляющих устройств.

Рассмотрим схему управления линии измельчения зерна на базе релейно-контактных схем. Линия измельчения зерна включает в себя: ковшовую норию 1 (рис. 3.1), дробилку 2, скребковый транспортер 3 и бункер для зерна 4. Поточная линия производит перемещение продукта ковшовой норией на дробилку, в которой зерно измельчается, и далее скребковым транспортером загружается в бункер для зерна. В бункере установлен датчик уровня, при срабатывании которого линия полностью отключается.

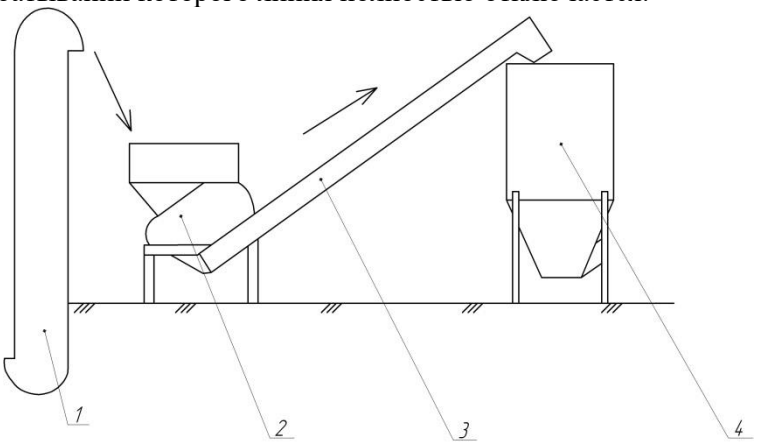


Рис. 3.1. Технологическая схема линии измельчения зерна

Требования, предъявляемые к схеме управления:

1) перед запуском линии дробления предусмотреть звуковую сигнализацию;

2) электродвигатели нории, дробилки, транспортера должны быть защищены от перегрузки;

3) предусмотреть задержку на включение ковшовой нории;

4) при достижении уровня в бункере линия должна отключаться. Контроль заполнения бункера осуществляется датчиком уровня;

5) схема управления должна иметь режим «Рабочий стоп»;

6) схема управления должна иметь режим пусконаладочных работ;

7) схема должна иметь световую индикацию работы механизмов.

Схему управления рассмотренного технологического процесса можно реализовать с помощью типовых релейно-контактных блок-схем.

Для реализации выдвинутых требований, используем блок-схемы: пускосигнального звена, нереверсивного управления электродвигателем и звено рабочего стопа. Опишем алгоритм управления.

Переключатель режимов работы SA1 позволяет выбирать режим работы: автоматический и ручной.

Ручной режим заключается в подаче питания через кнопки с фиксацией SB4-SB6 к катушкам магнитных пускателей механизмов линии в обход всей логики управления. В этом режиме оператор сам принимает решение по длительности работы линии или какого-то отдельного механизма, контроль заполнения бункера осуществляется только визуально.

Как правило, этот режим работы применяется либо при аварийных режимах работы, когда логика управления нарушена и необходимо завершить технологический процесс без утраты продукта на линии, либо при пуско-наладочных работах, когда после ремонта какого-то механизма линии необходимо запустить только лишь его, а не все механизмы линии.

После переключателя режимов работы в схему управления включен блок пускосигнального звена, который позволяет с задержкой по времени одновременно отключить звонок и включить механизм скребкового транспортера.

При составлении релейно-контактных схем последовательность включения или отключения механизмов реализуется посредством замыкающих контактов магнитных пускателей. Если питание присутствует на катушке магнитного пускателя КМ1

(скребковый транспортер), то соответственно через контакт КМ 1.1 питание также будет и на катушке магнитного пускателя КМ2 дробилки.

На рисунке 3.2 изображена релейно-контактная схема управления линии измельчения зерна.

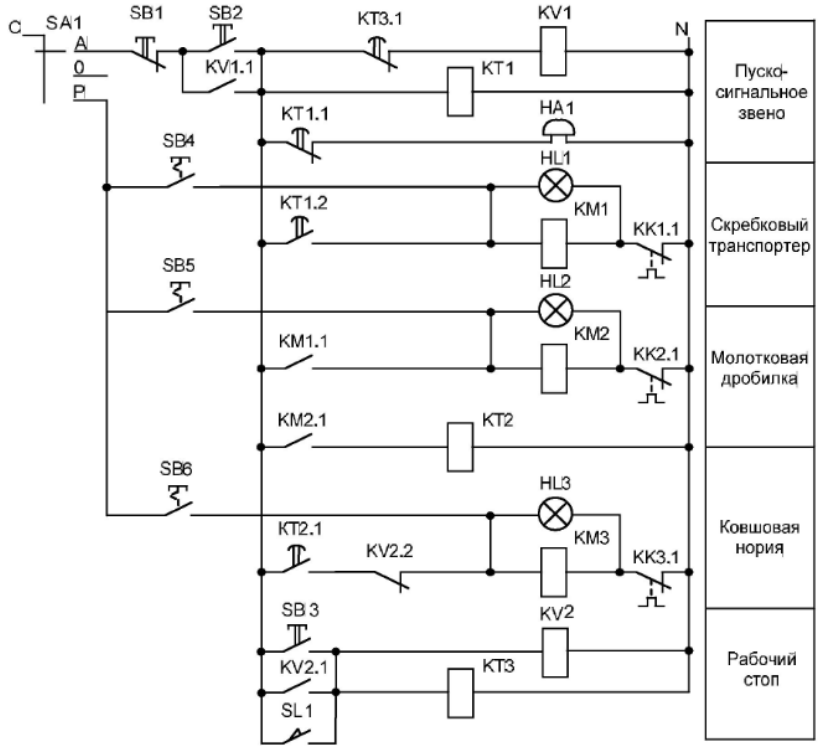


Рис. 3.2. Релейно-контактная схема управления линии измельчения зерна

Механизмы линии необходимо запускать поочередно. Поэтому в схеме управления питание на катушку магнитного пускателя КМ3 головного механизма подается с временной задержкой, реализованной реле времени КТ2.

После запуска механизмы линии все остаются включенными, осуществляется технологический процесс. Если во время работы наступает момент, когда бункер еще не полный, а линию необходимо отключить, то в этом случае в схеме управления используют

блок «рабочего стопа», который позволяет произвести отключение всех механизмов линии в правильной последовательности (по направлению движения продукта по линии). Так при нажатии на кнопку SB3 включается промежуточное реле KV2, размыкающий контакт которого KV2.2 разрывает цепь с катушкой КМ3, отключается головной механизм линии. При этом реле времени КТ3 производит отчет времени работы линии на очистку механизмов от продукта. После определенного времени контакт реле времени КТ3.1 разрывает цепь с промежуточным реле KV1, контакт которого является шунтирующим кнопку пуска. Это приводит к отключению всей схемы управления и, как следствие, остановке механизмов линии. Аналогичный алгоритм работы схемы управления при срабатывании датчика уровня в бункере SL1.

Защита электродвигателей линии от перегрузок реализуется посредством размыкающих контактов тепловых реле КК1.1-КК3.1.

Контрольные вопросы

1. Опишите технологический процесс работы линии измельчения зерна.
2. Перечислите требования, предъявляемые к схеме управления.
3. Каким образом обеспечивается последовательность включения или отключения механизмов при составлении релейно-контактных схем?
4. Какие типовые звенья реализуются в данной схеме?
5. Опишите алгоритм работы схемы.

Практическая работа № 4
ИЗУЧЕНИЕ ПРОГРАММИРУЕМОГО РЕЛЕ СЕРИИ ПР114 «ОВЕН»

Цель работы: изучить назначение, характеристики и принципы программирования реле серии ПР114 фирмы «ОВЕН».

Общие сведения. Программируемое реле ОВЕН ПР114 (далее – ПР) – это свободно программируемое устройство, которое не содержит в памяти заранее написанной программы. Алгоритм работы программируемого реле формируется непосредственно пользователем, что делает прибор универсальным и дает возможность широко использовать его в различных областях промышленности, сельском хозяйстве, ЖКХ и на транспорте.

Приборы данной линейки используют при замене устаревших релейных систем защиты и контроля. За счет внутренней логики прибора можно значительно сократить количество коммутируемых электромагнитных устройств, что снизит затраты на проектирование и эксплуатацию систем, а также повысит их надежность.

Программирование ПР не требует специальных навыков, поскольку осуществляется с помощью простой и интуитивно понятной среды программирования.

Область применения программируемого реле:

- управление наружным и внутренним освещением, освещением витрин;
- управление технологическим оборудованием (насосами, вентиляторами, компрессорами, прессами);
- конвейерные системы;
- управление подъемниками и т. д.

Логика работы прибора ПР114 определяется пользователем в процессе программирования с помощью среды «OWEN Logic».

Общий вид прибора с указанием номеров клемм, разъема программирования и светодиодов, а также способы подключения дискретных датчиков с выходом типа «сухой контакт» представлены на рисунке 4.1.

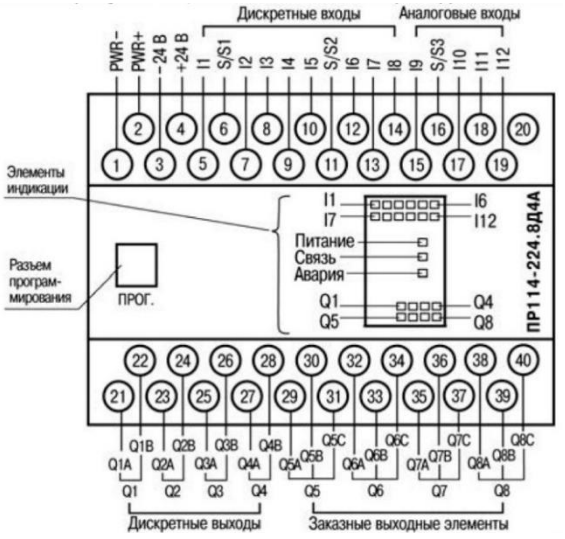


Рис. 4.1. Расположение контактов и элементов индикации в приборах ПР114

Основные характеристики. Программа OWEN Logic позволяет сформировать схему автоматизации, соответствующую конкретному комплексу процедур, управление которыми должен выполнять ПР при подаче сигналов на его входы.

Управление внешними устройствами выполняют коммутационные элементы на выходах ПР по загруженной в его энергонезависимую память коммутационной программе.

Одновременно среда программирования может работать только с одним проектом. При создании проекта не требуется подключения ПР. Последовательность операций при работе следующая:

1) запуск среды программирования на ПК (запуск программы OWEN Logic);

2) создание нового проекта (для конкретной модели ПР) или запуск существующего проекта для редактирования;

3) сохранение проекта в виде файла (с любым именем);

4) загрузка проекта в ПР.

В программе используется визуальный язык FBD, в котором заложены принципы построения электрических принципиальных схем, работающих с логическими сигналами.

В создаваемой при помощи программы схеме можно использовать функции (логические НЕ, И, ИЛИ, исключающее ИЛИ), а также специальные функциональные блоки.

Особенности коммутационной программы. Коммутационная программа для ПР составляется с учетом количества имеющихся у него входов, выходов и наличия часов реального времени. Общая структура для таких программ показана на рисунке 4.2.

Работу ПР можно представить в виде последовательно выполняемых шагов:

Шаг 1. Логическое состояние входов автоматически записывается в ячейки памяти входов (количество ячеек равно числу входов, например, I1, ..., I8).

Шаг 2. Коммутационная программа считывает значения из ячеек памяти входов и выполняет над ними логические операции, в соответствии со схемой автоматизации.

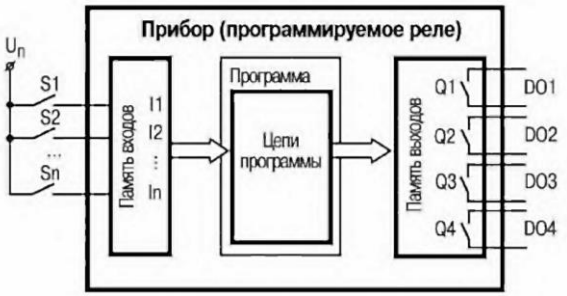


Рис. 4.2. Функциональная схема работы ПР
(Sl-Sn – переключатели или кнопки)

Шаг 3. После обработки всей коммутационной программы производится запись результатов на физические выходы ПР (для включения контактов выходных реле Q1, ..., Q4).

Шаг N. Переход на Шаг 1 (после выполнения всех предыдущих шагов обработки коммутационной программы цикл работы ПР повторяется с первого шага). Скорость повторения определяется внутренней тактовой частотой работы ПР.

Время выполнения всех шагов называется рабочим циклом ПР (зависит от количества выполняемых операций в цепях схемы).

Работа с программой.

Графический интерфейс. После запуска программы OWEN Logic появляется главное окно программы (рис. 4.3).

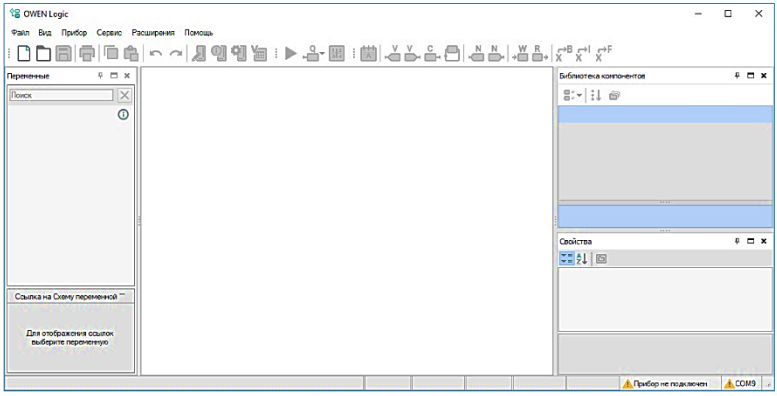


Рис. 4.3. Главное окно программы

Главное окно программы включает:

- заголовок окна (верхняя строка) – после создания проекта в заголовке автоматически выводится информация об имени файла проекта и его месте размещения на ПК;
- главное меню программы: Файл, Вид, Прибор, Сервис, Помощь;
- панели инструментов для быстрого вызова часто используемых действий.

Создание нового проекта и его сохранение. После запуска программы OWEN Logic следует нажать кнопку «Создать» на панели инструментов – при этом появится окно выбора типа ПР, для которого будет создаваться проект (рис. 4.4).

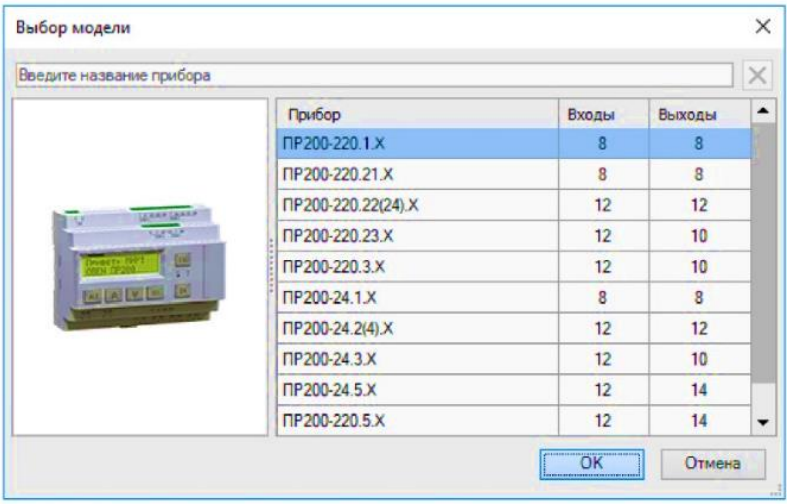


Рис. 4.4. Окно «Выбор модели» ПР для проекта

После выделения курсором нужной модели ПР, выбор подтверждается нажатием кнопки ОК, в рабочей области программы появится поле (холст), на краях которого слева размещены входы 11-18, а справа – выходы Q1-Q4 ПР (рис. 4.5)

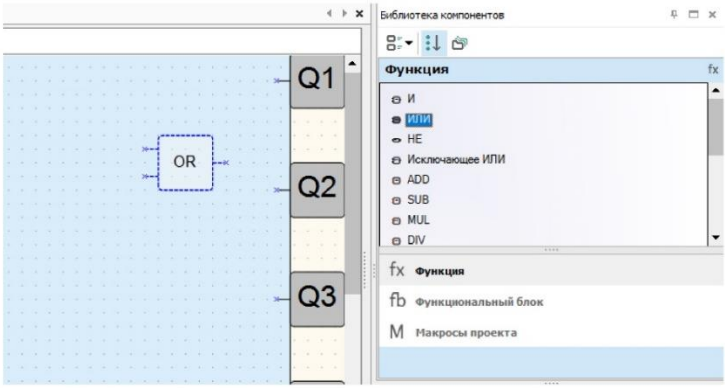
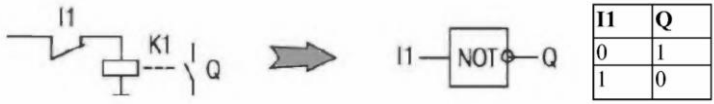


Рис. 4.5. Вид окна программы после выбора модели ПР

Проект создается путем перетаскивания выделенных курсором мыши блоков из вкладки «Библиотека компонентов» на рабочее поле (холст) и виртуального соединения цепей блоков между собой и с входами и выходами ПР. Для установки соединений цепей блоков пользователь курсором мыши указывает начальную (вход/выход) и конечную (вход/выход) точки привязки. Примечание. Связь не может устанавливаться только между входами (или только между выходами) графических компонентов – допустимым является соединение выхода и входов.

Функции логических элементов программы.

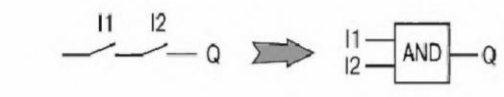
Функция «НЕ» (NOT). Элемент используется для инвертирования сигнала. На выходе элемента логическая «1» (выход включен) (рис. 4.6), если на входе логический «0» (контакты разомкнуты) и наоборот – инвертируется сигнал.



I1	Q
0	1
1	0

Рис. 4.6. Электрическая принципиальная схема функции «НЕ»

Функция «И» (AND). Элемент используется для выполнения логических операций. На выходе элемента логическая «1» (выход включен), если на всех входах логическая «1» (все входы включены - контакты замкнуты) (рис. 4.7). Работе соответствует приведенная таблица состояний.

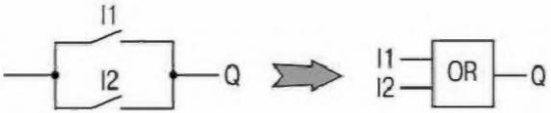


I1	I2	Q
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Рис. 4.7 Электрическая принципиальная схема функции «И»

Функция «ИЛИ» (OR). Элемент используется для выполнения логических операций. На выходе элемента логическая «1» (выход включен), только если на любом из входов логическая «1» (рис. 4.8). При использовании функций И и ИЛИ следует учитывать, что неподключенные входы логических элементов к входам ПР или другим элементам в программе будут иметь следующие состояния:

- для элемента И (AND) – логическая «1»;
- для элемента ИЛИ (OR) – логический «0». В этом случае логические элементы выполняют функцию повторителя сигнала.



I1	I2	Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Рис. 4.8 Электрическая принципиальная схема функции «ИЛИ»

Для увеличения числа входов у логических элементов используется их каскадное включение (рис. 4.9).

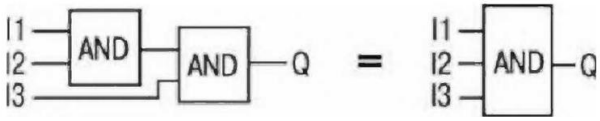


Рис. 4.9. Пример каскадного включения логических элементов «И»

Функциональные блоки программы.

RS-триггер с приоритетом выключения (RS). Блок используется для переключения с фиксацией состояния при поступлении коротких импульсов на соответствующий вход (рис. 4.10).

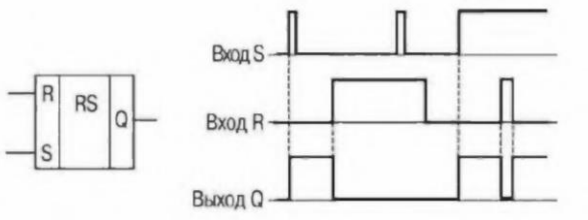


Рис. 4.10. Диаграмма работы RS-триггера с приоритетом выключения

На выходе блока появится логическая «1» по фронту сигнала на входе S. При одновременном поступлении сигналов на входы приоритетным является сигнал входа R.

SR-триггер с приоритетом включения (SR). Блок используется для переключения с фиксацией состояния при поступлении коротких импульсов на соответствующий вход. Работу поясняет приведенная на рисунке 4.11 диаграмма. На выходе блока появится логическая «1» по фронту сигнала на входе S. При одновременном поступлении сигналов на входы приоритетным является сигнал входа S.

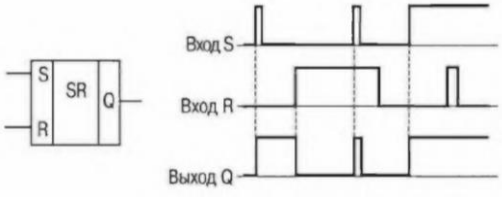


Рис. 4.11 Диаграмма работы SR-триггера с приоритетом включения

Импульс включения заданной длительности (TP). Блок используется для формирования импульса включения выхода на заданный интервал времени. Работу поясняет приведенная на рисунке 4.12 диаграмма. На выходе Q блока появится логическая «1» по фронту входного сигнала (I). После запуска выход Q не реагирует на изменение значения входного сигнала на интервале $T_{имп}$, а по истечении этого интервала сбрасывается в «0». Допустимый диапазон значений $T_{ИМП}$=T – от 0 до 4147200000 мс.

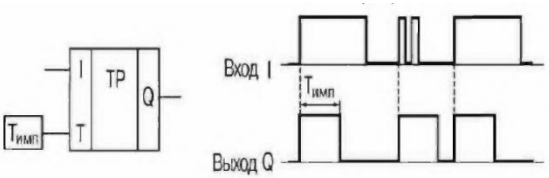


Рис. 4.12. Диаграмма работы блока
«Импульс включения заданной длительности»

Генератор прямоугольных импульсов (BLINK). Блок используется для формирования прямоугольных импульсов пульсации. На выходе *Q* генератора формируются импульсы с заданными параметрами длительности включенного ($T_{вкл}$ – логическая «1») и отключенного ($T_{откл}$ – логический «0») состояния на время действия управляющего сигнала на входе I (логической «1»). Работу поясняет приведенная на рисунке 4.13 диаграмма. Допустимый диапазон значений $T_{вкл}$ и $T_{откл}$ – от 0 до 4233600000 мс, или 49 дней.

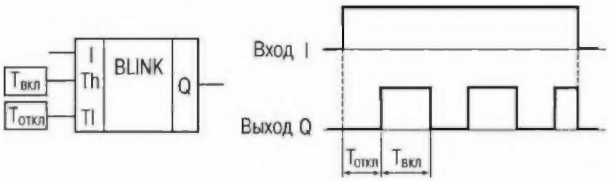


Рис. 4.13. Диаграмма работы блока
«Генератор прямоугольных импульсов»

Таймер с задержкой включения (TON). Блок используется для операции задержки передачи сигнала. Работу поясняет приведенная на рисунке 4.14 диаграмма. На выходе Q блока появится логическая «1» с задержкой относительно фронта входного сигнала (I). Выход включается логической «1» на входе продолжительностью не менее длительности T, а выключается по спаду входного сигнала. Допустимый диапазон значений T от 0 до 4147200000 мс, или 48 дней.

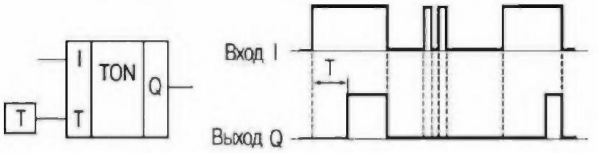


Рис. 4.14. Диаграмма работы блока «Таймер с задержкой включения»

Таймер с задержкой отключения (TOF). Блок используется для задержки отключения выхода. Работу поясняет приведенная на рисунке 4.15 диаграмма. На выходе блока появится логическая «1» по фронту сигнала на входе I, а начало отсчета времени задержки отключения ($T_{зад}$) происходит по каждому спаду входного сигнала. После отключения входного сигнала на выходе появится логический «0» с задержкой $T_{зад}$. Допустимый диапазон значений $T_{зад}$ от 0 до 4147200000 мс, или 48 дней.

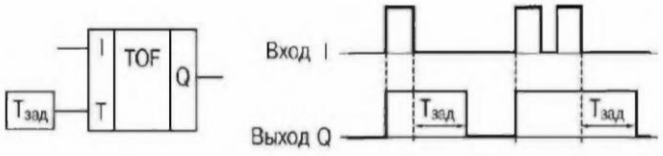


Рис. 4.15. Диаграмма работы блока «Таймер с задержкой отключения»

Инкрементный счетчик с автосбросом (CT). Блок используется для подсчета заданного числа импульсов. Работу поясняет приведенная на рисунке 4.16 диаграмма. На выходе Q счетчика появится импульс логической «1» с длительностью рабочего цикла прибора ($T_{цикл}$), если число приходящих на вход импульсов достигнет установленного значения N. Допустимый диапазон значений числа импульсов N от 0 до 65535.

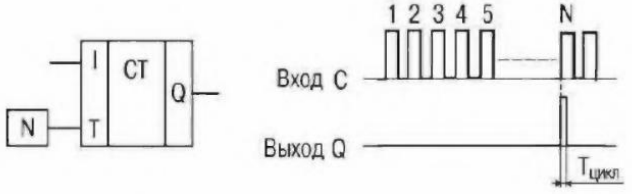


Рис. 4.16. Диаграмма работы блока
«Инкрементный счетчик с автосбросом»

Интервальный таймер (CLOCK). Блок используется для формирования импульса включения выхода по часам реального времени. Работу поясняет приведенная на рисунке 4.17 диаграмма. Время включения ($T_{вкл}$) и отключения ($T_{откл}$) выходов устанавливают в качестве параметров блока. Допустимый диапазон значений $T_{вкл}$ и $T_{охкл}$ от 0,00 с до 24 ч.

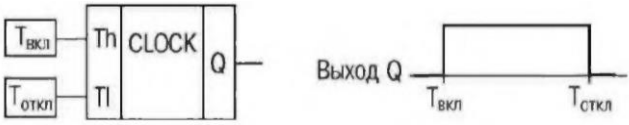


Рис. 4.17. Диаграмма работы блока «Интервальный таймер»

Интервальный таймер с недельным циклом (CLOCKWEEK). Блок используется для формирования импульса включения выхода по часам реального времени, с учетом дней недели. Время включения ($T_{вкл}$), отключения ($T_{откл}$) выхода и дни недели работы устанавливают в качестве параметров блока (рис. 4.18). Допустимый диапазон значений $T_{вкл}$ и $T_{откл}$ от 0,00 с до 24 ч.

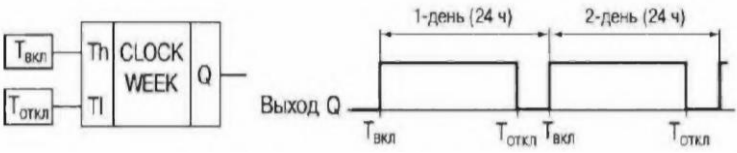


Рис. 4.18. Диаграмма работы блока
«Интервальный таймер с недельным циклом»

Загрузка проекта в программируемый прибор.

После создания проекта его записывают в энергонезависимую память реле. Для записи необходимо:

1) соединить ПР с COM или USB-портом ПК при помощи коммуникационного кабеля;

2) подать питание на ПР согласно его руководству по эксплуатации;

3) настроить параметры соединения, если в этом есть необходимость;

4) записать проект в ПР при помощи соответствующей кнопки на панели инструментов или выбрать команду «Файл => Записать программу в прибор». Сразу после записи ПР переходит в рабочий режим, и коммутационная программа запускается автоматически.

Если в подключенном ПР уже есть ранее записанная коммутационная программа, то при записи в него нового проекта она заменяется.

Последовательность работы над проектом. Составление коммутационной программы рекомендуется начинать с планирования. План должен описывать все возможные состояния ПР при функционировании (в виде диаграммы режимов, таблицы состояний, электрической или функциональной схемы и/или др.). После того, как продуманы все задачи, которые должны выполняться, необходимо составить программу на основе функций (логических элементов) и функциональных блоков.

Работа над проектом включает:

1) открытие нового проекта – весь проект будет храниться в одном файле, которому следует присвоить идентификационное имя;

2) формирование структуры текущего проекта рекомендуется выполнять в следующем порядке:

- из «Библиотеки компонентов» на холст добавляются необходимые блоки путем перетаскивания их мышью при нажатой на ней левой кнопке (из соответствующей вкладки «Функции» или «Функциональные блоки»);
- последовательно выделяя курсором блоки схемы, на закладке «Свойства» установить их параметры;
- соединяются блоки программы между собой, а также с нужными входами и выходами ПР. При этом допускается передвигать квадраты входов и выходов в вертикальной плоскости для расположения соединительных линий по кратчайшей длине;
- загружается проект в ПР и проверяется его работа на макете. При проверке правильности работы коммутационной программы в ПР последовательно включают и выключают каждый вход, контролируя состояние выходов на соответствие нужным условиям;

4) по результатам макетирования производится редактирование проекта с целью устранения ошибок (добавление новых элементов и программных цепей, или их удаления, редактирование параметров работы функциональных блоков и т. д.);

5) после устранения всех ошибок подготовка проекта завершается сохранением его в файле;

6) загрузка проекта в ПР114 и проверка его работы на макете.

Пример 4.1. Реализация типового звена нереверсивной схемы управления в программе OWEN Logic.

Типовое звено нереверсивной схемы управления состоит из двух функциональных блоков детектора переднего фронта «RTRIG», одного блока «SR» триггера с приоритетом включения, логической функции ИЛИ «OR» и логической функции НЕ «NOT». Предназначено для ручного управления включением и отключением электроустановок (двигателей, нагревателей систем освещения и прочее).

Принцип работы: при нажатии на кнопку «пуск» сигнал появляется на входе I2, к которому подключен функциональный блок детектора переднего фронта «RTRIG1». Функциональный блок пропускает через себя сигнал импульсом, после чего на его выходе будет всегда «0». Пройденного кратковременного импульса хватает для того, чтобы «SR1» триггера сработал и на выходе его появилась и запомнилась «1». Это приводит к появлению сигнала на выходе реле «Q2», а следовательно, и к включению магнитного пускателя механизма.

При нажатии на кнопку «стоп» сигнал появляется на входе I3, к которому подключен функциональный блок детектора переднего фронта «RTRIG2». Он пропускает через себя сигнал импульсом, который, проходя через логическую функцию ИЛИ «OR», подается на вход сброса «SR1» триггера, что приводит к его отключению и, как следствие, остановке работы механизма.

Для защиты электродвигателя от аварийных режимов работы в схеме управления предусмотрена установка теплового реле. В случае возникновения перегрузки сигнал, проходящий через размыкающий контакт теплового реле, пропадает на входе реле I5, что приводит к появлению сигнала на входе сброса «SR1» триггера (рис. 4.19).

Пример 4.2. Реализация типового звена реверсивной схемы управления в программе OWEN Logic.

Типовое звено реверсивной схемы управления состоит из трех функциональных блоков детектора переднего фронта «RTRIG», двух блоков «SR» триггера с приоритетом включения, трех логических функций ИЛИ «OR» и логической функции НЕ «NOT». Предназначено для ручного управления реверсом электродвигателя.

Принцип работы: при нажатии на кнопку «пуск влево» сигнал появляется на входе 12, к которому подключен функциональный

блок детектора переднего фронта «RTRIG1». Функциональный блок пропускает через себя сигнал, который подается на вход установки «SR1» триггера. Это приводит к появлению сигнала на выходе реле «Q2», а следовательно, и к включению первого магнитного пускателя, который приводит во вращение электродвигатель против часовой стрелки.

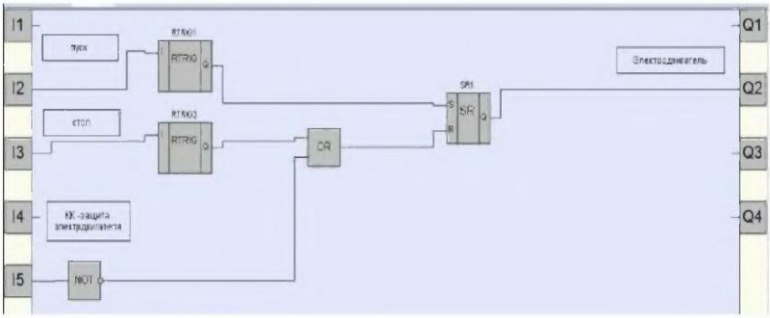


Рис. 4.19. Нереверсивная схема управления электродвигателя

При нажатии на кнопку «пуск вправо» сигнал появляется на входе 14, к которому подключен функциональный блок детектора переднего фронта «RTRIG2». Функциональный блок пропускает через себя сигнал, который подается на вход установки «SR2» триггера. Это приводит к появлению сигнала на выходе реле «Q4», а следовательно, и к включению второго магнитного пускателя, который приводит во вращение электродвигатель по часовой стрелке.

Во избежание одновременной работы двух магнитных пускателей в схеме предусмотрены деблокировочные режимы, которые реализуются посредством двух логических функций ИЛИ «OR». Если на выходе «SR1» триггера будет сигнал, то на входе сброса «SR2» триггера также будет сигнал, что исключает одновременного наличия сигнала на выходах «SR1» n«SR2» триггеров.

При нажатии на кнопку «стоп» сигнал появляется на входе 13, к которому подключен функциональный блок детектора переднего фронта «RTRIG3». Сигнал подается через него на вход обоих «SR1» и «SR2» триггеров, что приводит к их отключению и, как следствие, остановке работы механизма. На рисунке 4.20 представлена реверсивная схема управления.

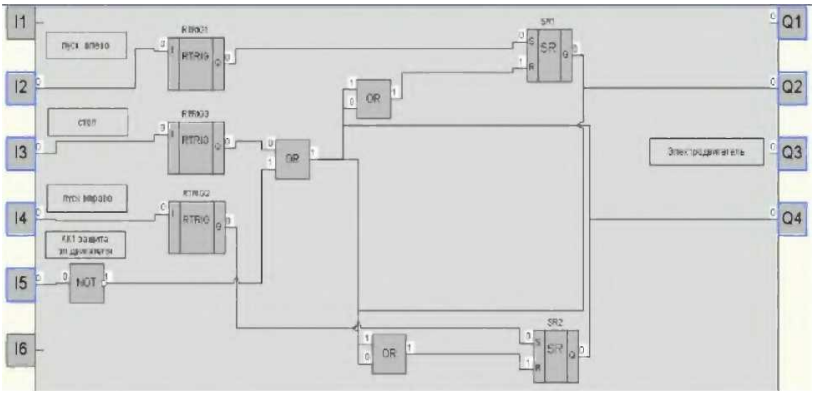


Рис. 4.20. Реверсивная схема управления

Пример 4.3. Реализация типового пускосигнального звена в программе OWEN Logic.

Типовое звено пускосигнальное состоит из двух функциональных блоков детектора переднего фронта «RTRIG», двух блоков «SR» триггера с приоритетом включения, таймера с задержкой включения «TON», блока импульса включения заданной длительности «TP», логических функций ИЛИ «OR» и логической функции НЕ «NOT». Предназначено для ручного управления электродвигателем с задержкой его включения.

Принцип работы: при нажатии на кнопку «пуск» сигнал появляется на входе I2, к которому подключен функциональный блок детектора переднего фронта «RTRIG1». Функциональный блок пропускает через себя сигнал, который подается на вход установки «SR1» триггера. Это приводит к появлению сигнала на выходе триггера, который одновременно подается на два временных блока. Блок импульса включения заданной длительности «TP» сразу формирует сигнал на выходе определенное время, в нашем случае равное 5 с, что приводит к появлению сигнала на выходе реле «Q2» – звенит звонок. Одновременно с этим на входе блока таймера с задержкой включения «TON» присутствует сигнал, который с задержкой времени, равной 5 с, подаст сигнал на управление «SR2» триггера механизма.

При нажатии на кнопку «стоп» сигнал появляется на входе I3, к которому подключен функциональный блок детектора переднего

фронта «RTRIG2». Сигнал подается через него на вход обоих «SR1» и «SR2» триггеров, что приводит к их отключению и, как следствие, остановке работы механизма (рис. 4.21).

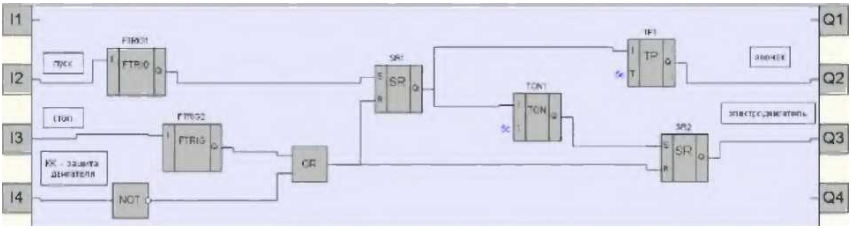


Рис. 4.21. Пускосигнальное звено

Пример 4.4. Реализация типового звена «рабочий стоп» в программе OWEN Logic.

Типовое звено «рабочий стоп» состоит из функционального блока детектора переднего фронта «RTRIG1», двух блоков «SR» триггера с приоритетом включения, таймера с задержкой включения «TON1». Предназначено для ручного управления электродвигателями с задержкой их отключения.

Принцип работы: при нажатии на кнопку «пуск» сигнал появляется на входе I1, к которому подключен функциональный блок детектора переднего фронта «RTRIG1». Функциональный блок пропускает через себя сигнал, который подается на вход установки «SR1» триггера. Это приводит к появлению сигнала на выходе триггера, который одновременно подается на временной блок таймера с задержкой включения «TON1» и «SR2» триггера.

При возникновении сигнала на входе сброса «SR2» триггера происходит его отключение. При этом отключается головной механизм линии. Одновременно с этим на входе блока таймера с задержкой включения «TON» присутствует сигнал, который, с задержкой времени, равной 5 с, подаст сигнал на отключение всех «SR» триггеров механизмов линии (рис. 4.22).

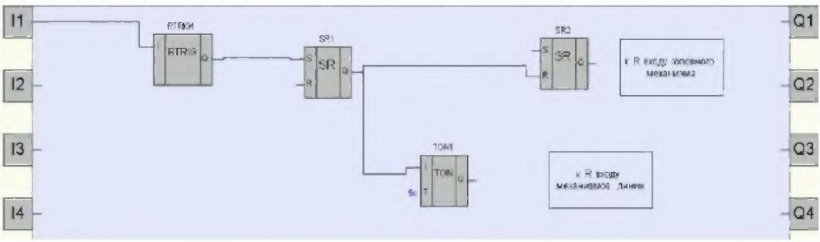


Рис. 4.22. Звено «Рабочий стоп»

Пример 4.5. Реализация схемы управления линией измельчения зерна на базе реле ПР 114.

На основании разработанных бесконтактных схем управления (пример 4.1-4.4) необходимо реализовать алгоритм управления линии измельчения зерна (практическая работа № 3).

Функционально-структурная схема представлена на рисунке 4.23. После написания программы на компьютере производится ее загрузка в ПР114. Для этого сначала необходимо настроить связь компьютера с ПР114, после чего разработанная программа записывается в прибор.

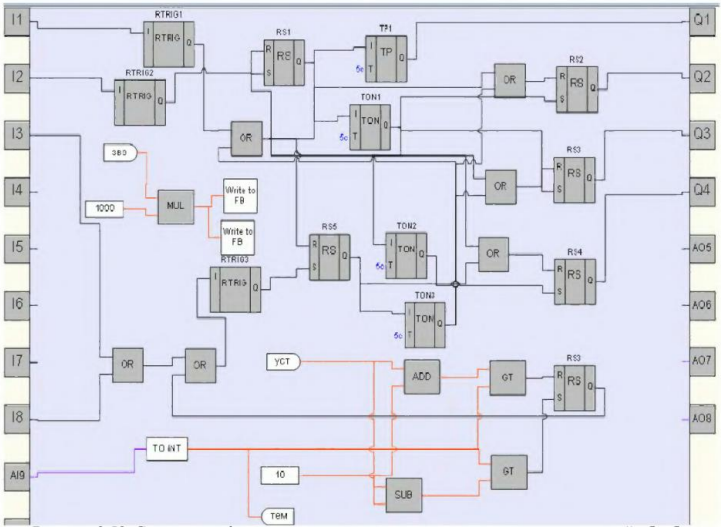


Рис. 4.23. Структурно-функциональная схема автоматизации измельчения зерна

Описание работы схемы. При нажатии кнопки «Пуск» (I2) сигнал подается на блок RTRIG2, на его выходе появляется лог. «1» и мгновенно пропадает. Это приводит к появлению на входе «S» RS-триггера «RS1» лог. «1» – на выходе «Q» RS-триггера «SR1» установится лог. «1». Этот сигнал поступает дальше на вход блока «TP1» (блок используется для формирования импульса включения выхода на заданный интервал времени), на выходе лог. «1» подается на выход Q1. К выходу Q1 подключена лампа HL1 световой сигнализации начала работа линии.

Время работы выхода Q1 определяет блок «TP1». Одновременно с подачей лог. «1» на вход блока «TP1», лог. «1» подается на таймер с задержкой включения «TON1». Через определенное время на выходе блока «TON1» появляется лог «1», которая, приходя на входы RS-триггеров «RS2» и «RS3», производит включение Q2 и Q3. Загораются лампы индикации HL2 и HL3, включаются два механизма линии: скребковый транспортер и дробилка.

Одновременно с этим лог. «1» подается на таймер с задержкой включения «TON2», который через время производит включение выхода Q4 (загорается лампа индикации HL4 работы нории).

Все механизмы линии работают, происходит технологический процесс измельчения зерна и его загрузка в бункер. В бункере установлен датчик веса, сигнал которого поступает на аналоговый вход AI9. Также в бункере установлен датчик уровня, сигнал с которого поступает на вход I8.

Как только вес продукта достигает своего заданного значения, либо срабатывает датчик уровня, либо оператор сам прекращает загрузку бункера, появляется лог. «1» на входе блока «OR», сигнал от которого через блок «RTRIG3» поступает на «RS5». С выхода триггера лог. «1» сразу подается на вход «R» RS-триггера «RS-4», что приводит к отключению выхода Q4 и одновременно лог. «1» приходит на вход блока «TON2», который отключает RS-триггеры «RS2» «RS3» через выдержку времени.

Цепь входа I1 реализует функцию «Общий стоп» или «Аварийный стоп»: при нажатии кнопки «SB1» (I1 на схема, рис. 4.23) лог. «1» подается на все RS-триггеры: «RS-2», «RS-3», «RS-4», включающие механизмы линии.

Контрольные вопросы

1. Назовите области применения программируемых реле.
2. Как можно представить работу программируемого реле ПР114?
3. Перечислите функции используемых логических элементов программы.
4. Перечислите возможные функциональные блоки программы.
5. Как обеспечивается увеличение числа входов у логических элементов?

6. Каким образом выполняется создание нового проекта в программе OWEN Logic?
7. Как осуществляется реализация типового звена реверсивной схемы управления в программе OWEN Logic?
8. Как осуществляется реализация типового пускосигнального звена в программе OWEN Logic?
9. Как осуществляется реализация типового звена «рабочий стоп» в программе OWEN Logic?

Практическая работа № 5
ИЗУЧЕНИЕ ПРОГРАММИРУЕМОГО РЕЛЕ LOGO! SIEMENS

Цель работы: изучить назначение, характеристики и принципы программирования универсальных логических модулей LOGO! фирмы Siemens.

LOGO! – это универсальные логические модули фирмы Siemens. Логические модули LOGO! являются компактными функционально законченными универсальными изделиями. Они предназначены для построения простейших устройств автоматики с логической обработкой информации. Алгоритм функционирования модулей задается программой, составленной из набора встроенных функций. Программирование модулей может производиться с их клавиатуры без использования дополнительного программного обеспечения.

Состав серии LOGO!:

- LOGO!Basic – логические модули;
- LOGO!Pure – логические модули;
- LOGO!Contact – модули бесшумной коммутации трехфазных цепей переменного тока;
- LOGO!Power – блоки питания;
- LOGO!Soft Comfort – программное обеспечение;
- модули ввода\вывода дискретных сигналов DM8/DM16;
- модули ввода и вывода аналоговых сигналов AM2;
- коммуникационные модули.

Область применения логических модулей:

- управление технологическим оборудованием (насосами, вентиляторами, компрессорами, прессами, эскалаторами, подъемниками, в системах отопления);
- управление коммутационной аппаратурой;
- системы управления дорожным движением;
- конвейерные системы;
- системы управления в оранжереях и теплицах;
- управление жалюзи, освещением витрин, наружным и внутренним освещением;
- и др.

Состав условных обозначений модулей LOGO!:

- DM – дискретный модуль расширения;
- AM – аналоговый модуль расширения;
- CM – коммутационный модуль расширения;
- 12/24 – напряжение питания 12 В или 24 В постоянного тока;
- 24 – напряжение питания 24 В;
- 230 – напряжение питания 115/240 В переменного тока;
- R – релейные выходы (способны коммутировать токи до 10 А (активная нагрузка) или до 3 А (индуктивная нагрузка) в цепях напряжением 12/24 В, ~ 24 В или ~/=115/240 В;
- если R не содержится в маркировке, – выходы транзисторные (способны коммутировать токи до 0,3 А в цепях напряжением = 24 В и оснащены электронной защитой от короткого замыкания);
- C – встроенный часовой выключатель на 7 дней;
- O – вариант без дисплея и клавиатуры (LOGO! Pure).

Входы:

- DI – дискретные;
- AI – аналоговые;
- UI – универсальные;
- AS – AS интерфейс.

Выходы:

- TO – транзисторные;
- RO – релейные;
- AS – AS интерфейс;
- DO – дискретные (транзисторные или релейные).

Логические модули LOGO! BASIC. Характеризуются следующими показателями:

- дискретных входов – 8;
- дискретных выходов – 4;
- внутренних флага – 24;
- встроенный жидкокристаллический дисплей и клавиатура (все модели), календарь и часы (кроме LOGO! 24);
- интерфейс расширения: до 24 дискретных входов +8 аналоговых входов +16 дискретных выходов +2 аналоговых выхода;
- интерфейс для подключения кабеля ПК для программирования или установки модуля памяти;
- 34 встроенных функции, сгруппированные в библиотеки логических (GF) и специальных (SF) функций.

Логические модули LOGO! PURE. Характеризуются следующими показателями:

- не имеют дисплея и клавиатуры;
- программирование производится с компьютера, оснащенного пакетом LOGO! Soft Comfort;
- встроенные входы модулей могут использоваться для ввода дискретных сигналов;
- напряжение питания входных цепей соответствует напряжению питания модуля;
- в моделях номинала питания 12/24 В АС 2 из 8 входов имеют универсальное назначение. Они могут использоваться для ввода дискретных сигналов или аналоговых сигналов 0…10 В.

Рис. 5.1. Внешний вид логического модуля LOGO! BASIC

Программирование LOGO!. Под программированием подразумевается создание коммутационной программы.

Соединительные элементы. У LOGO! есть входы и выходы, каждый вход обозначается буквой I и номером. Каждый выход обозначается буквой Q и номером. LOGO! может распознавать, считывать и включать входы и выходы всех модулей расширения независимо от их типа. Входы и выходы представлены в той же последовательности, в которой расположены модули.

Для программирования имеются в распоряжении следующие входы, выходы и флаги: от I1 до I24, от AI1 до AI8, от Q1 до Q16, AQ1 и AQ2, от M1 до M24 и от AM1 до AM6. Кроме того, имеются биты регистра сдвига от S1 до S8, 4 клавиши управления курсором C▲, C►, C▼ и C◄ и 16 свободных выходов от X1 до X16.

Термин «соединительный элемент» относится ко всем соединениями и состояниям в LOGO!.

Входы и выходы могут иметь состояние «0» или «1». «0» означает, что на входе нет напряжения; «1» означает, что оно есть.

Соединительные элементы обозначены hi, lo и x: hi (high, т.е. высокий) имеет фиксированное состояние «1», а lo (low, т.е. низкий) имеет фиксированное состояние «0».

Коммутационная программа автоматически присваивает неиспользуемым соединительным элементам состояние, обеспечивающее надлежащее функционирование соответствующего блока.

Блоки и номера блоков. Блок в LOGO! – это функция, которая преобразует входную информацию в выходную информацию. При создании коммутационной программы связываются соединительные элементы с блоками. Для этого выбирается желаемое соединение из меню Co (от англ. connector, т.е. соединительный элемент).

Логические операции. Простейшими блоками являются логические операции:

- AND [И];
- OR [ИЛИ];
- и т.д.

Пример блока приведен на рисунке 5.2. Входы I1 и I2 подключены здесь к блоку OR [ИЛИ]. Последние 2 входа блока не используются и обозначены при разработке коммутационной программы символом «x».

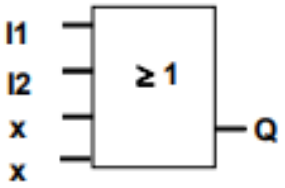


Рис. 5.2. Обозначение логической функции

Также используются специальные функции:

- импульсное реле;
- реверсивный счетчик;
- задержка включения;
- программный выключатель;
- и т.д.

В каждый момент времени на дисплее может быть представлен только один блок (рис. 5.3).

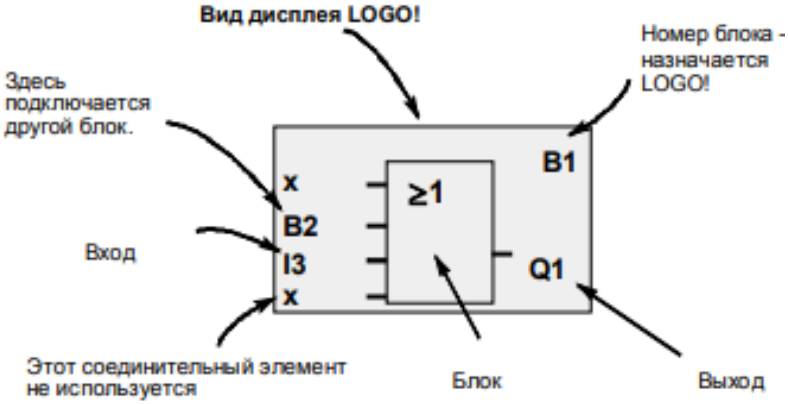


Рис. 5.3. Пример логического блока

LOGO! использует номера блоков для отображения связей между блоками (рис. 5.4).

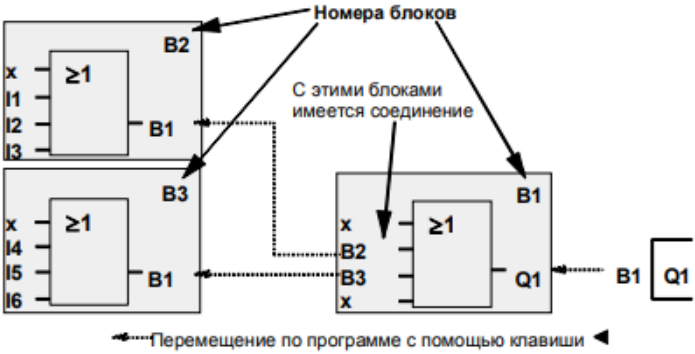


Рис. 5.4. Связь блоков друг с другом

Здесь показаны три представления дисплея LOGO!, которые вместе образуют коммутационную программу. LOGO! связывает блоки друг с другом с помощью их номеров. Можно соединить почти любой блок с входом текущего блока, используя номер блока. Таким образом, можно многократно использовать промежуточные результаты логических или иных операций. Это экономит усилия, необходимые для повторного ввода элементов, а также место в памяти и обеспечивает сохранение ясности схемы. В этом случае необходимо знать, какие имена LOGO! присвоены блокам.

Представление коммутационной схемы. Пример коммутационной схемы приведен на рисунке 5.5. Потребитель E1 включается и выключается с помощью выключателей (S1 OR S2) AND S3. Реле K1 срабатывает, когда замкнуты S1 или S2, а также S3.

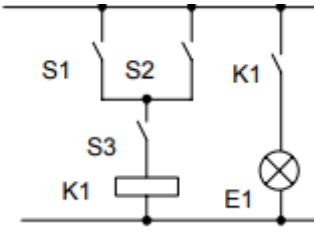


Рис. 5.5. Пример коммутационной схемы

В LOGO! данная схема создается соединением друг с другом блоков и соединительных элементов (рис. 5.6).

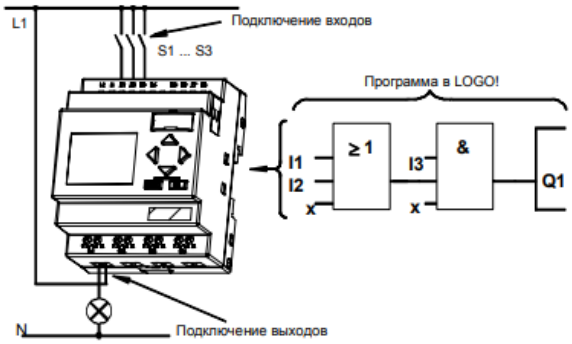


Рис. 5.6. Соединение блоков и соединительных элементов

Реализацию схемы в LOGO! начинают с выхода схемы. Выходом является нагрузка или реле, которым необходимо управлять. Схема преобразуется в блоки. Для этого необходимо пройти по схеме от выхода к входу.

Шаг 1. На выходе Q1 имеется последовательное соединение нормально открытого контакта S3 с другим компонентом схемы. Последовательное соединение соответствует блоку AND [И] (рис. 5.7)

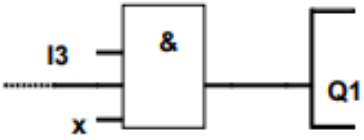


Рис. 5.7. Блок AND

Шаг 2. S1 и S2 соединены параллельно. Параллельное соединение соответствует блоку OR [ИЛИ] (рис. 5.8).

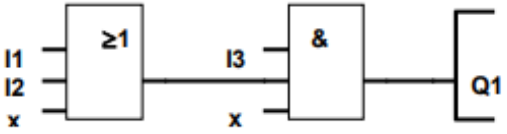


Рис. 5.8. Блок OR

Неиспользуемые входы. Коммутационная программа автоматически присваивает неиспользуемым соединительным элементам состояние, обеспечивающее надлежащее функционирование соответствующего блока. Если необходимо, то можно обозначить неиспользуемые соединительные элементы символом x.

Далее подключают к LOGO! входы и выходы.

Основные правила для работы с LOGO!

1) Изменение режима работы.

- Коммутационная программа создается в режиме программирования. После включения питания, если отображается «No Program/Press ESC [Нет программы/ Нажмите ESC]», можно попасть в режим программирования нажатием клавиши ESC.
- Значения времени и параметров существующей программы можно изменять в режимах параметризации и программирования. Во время параметризации LOGO! находится в режиме RUN, т.е. он продолжает выполнение коммутационной программы. Для работы в режиме программирования необходимо завершить выполнение коммутационной программы, вызвав команду «Stop».
- Переход в режим RUN производится выполнением команды Start в главном меню.

2) Выходы и входы.

- Коммутационная программа всегда вводится от выхода к входу.
- Можно соединить выход с несколькими входами, но не несколько выходов с одним входом.
- Нельзя соединять выход с предшествующим входом в пределах одного программного пути.

3) Курсор и его перемещение.

При вводе коммутационной программы, когда курсор появляется в форме знака подчеркивания, его можно перемещать:

- с помощью клавиш ◄, ►, ▼ и ▲ внутри коммутационной программы;

- с помощью OK переходят к выбору соединительного элемента или блока;

- с помощью ESC, можно покинуть режим программирования.

Обзор меню LOGO!

Режим программирования представлен на рисунке 5.9.

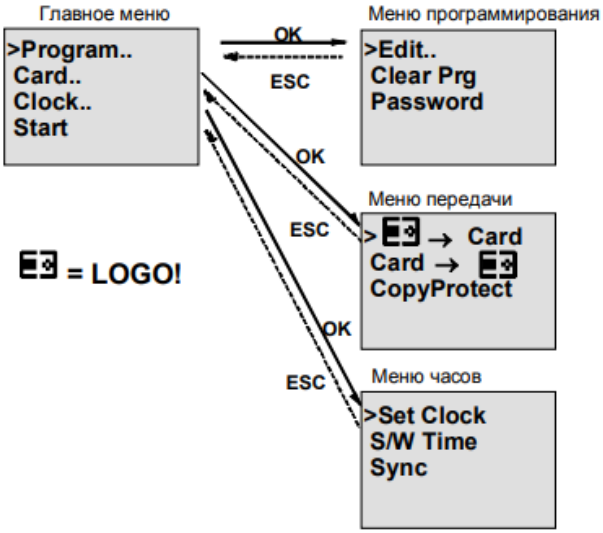


Рис. 5.9. Режим программирования

Режим параметризации.

Меню параметризации представлено на рисунке 5.10.

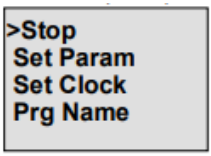


Рис. 5.10. Меню параметризации

Ввод и запуск коммутационной программы.

Переход в режим программирования.

После подключения LOGO! к сети и включения напряжения на дисплее появляется следующее сообщение (рис. 5.11).

Рис. 5.11. Сообщение на дисплее

Переключают LOGO! в режим программирования, нажав клавишу ESC. Главное меню LOGO! Представлено на рисунке 5.12.

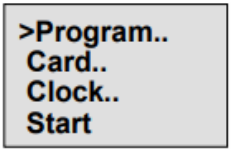


Рис. 5.12. Главное меню

Первым символом в первой строке является знак «>». Для перемещения «>» вверх и вниз используют клавиши ▼ и ▲. Перемещая «>» на «Program.» и нажимая OK, переходят в меню программирования (рис. 5.13).

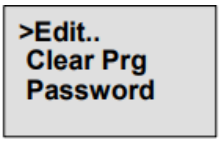


Рис. 5.13. Режим программирования

Перемещая символ «>» на «Edit Prg» (для редактирования коммутационной программы) и нажимая клавишу OK, LOGO! покажет первый выход (рис. 5.14):

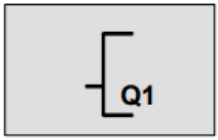


Рис. 5.14. Первый выход

В режиме программирования с помощью клавиш ▼ и ▲ можно выбрать другие выходы, выполняя ввод коммутационной программы.

Пример 5.1. Реализация типовой нереверсивной схемы управления электродвигателем на базе LOGO! (практическая работа № 2).

Нереверсивная схема управления электродвигателем реализована в программе LOGO! Soft Comfort на языке FBD (рис. 5.15) и LAD (рис. 5.16). На рисунке 5.15 представлена функциональная блок-схема, на которой I1 – входной блок, на который приходит сигнал с кнопки «пуск»; I2 – входной блок, на который приходит сигнал с кнопки «стоп»; B004 и B005 – интервальные реле с запуском по фронту; B004 (RS) – реле с блокировкой и Q1 – выходной блок, катушка выходного реле (магнитного пускателя).

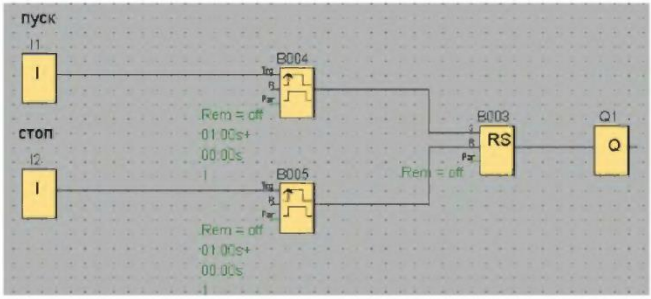


Рис. 5.15. Нереверсивная схема управления электродвигателем на языке функциональных блок-схем FBD

При нажатии на кнопку «пуск» появляется сигнал на выходе блока I1, который, через интервальное реле с запуском по фронту, подается на реле с блокировкой RS. При появлении сигнала на входе S реле с блокировкой, на выходе сигнал будет присутствовать всегда, т.е. он запомнил состояние сигнала на входе S. Если на выходе RS присутствует сигнал, значит, он существует и на выходном блоке Q1, а, следовательно, и замкнут выходной контакт реле 1 LOGO.

Для отключения выходного блока Q1 необходимо снять сигнал с выхода реле с блокировкой RS. Для этого необходимо нажать кнопку «стоп», в результате чего появится сигнал на входе R реле с блокировкой RS, что приведет к сбросу.

Универсальность программы LOGO! Soft Comfort заключается в том, что она позволяет выполнить перевод уже разработанной схемы управления в другой язык программирования. В результате схема нереверсивного управления электродвигателем, разработанная на языке функциональных блок-схем FBD, трансформируется в схему управления на языке релейно-контактных схем LAD (рис. 5.16).

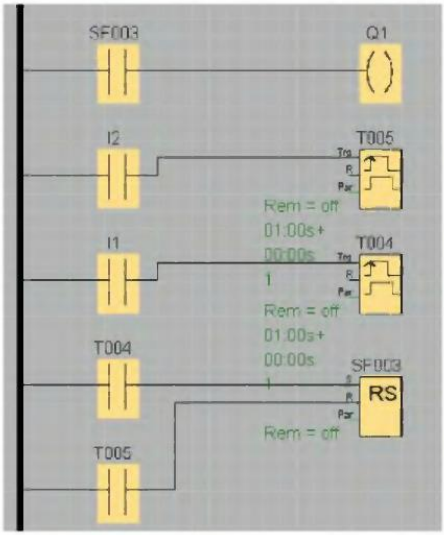


Рис. 5.16. Нереверсивная схема управления электродвигателем на языке релейно-контактных схем LAD

Как видим из рисунка, основные блоки схемы управления остались прежними, только изменилась конфигурация, в частности появились замыкающие контакты с катушкой.

При нажатии на кнопку «пуск» замыкается контакт I1, который подает сигнал на интервальное реле с запуском по фронту T004, которое уже через свой замыкающий контакт T004 подается на реле с блокировкой RS. При появлении сигнала на входе S реле с блокировкой его контакт SF003 замыкает цепь с выходной катушкой реле Q1, что приводит к замыканию 1-го выходного контакта реле LOGO.

Для отключения выходной катушки реле Q1 необходимо разомкнуть контакт SF003 реле с блокировкой RS. Для этого необходимо нажать кнопку «стоп», в результате чего появится сигнал на входе R реле с блокировкой RS, что приведет к сбросу.

Пример 5.2. Реализация типовой схемы звена «Рабочий стоп» на базе LOGO!.

Звено «Рабочий стоп» предназначено для правильного отключения механизмов линии. Позволяет отключить механизмы линии с полной их очисткой от продукта.

Представленная на рисунке 5.17 схема работает следующим образом. При нажатии на кнопку пуск «Рабочий стоп» замыкается контакт 16, который подает через интервальное реле с запуском по фронту B004 сигнал на реле с блокировкой (RS) B003. Сигнал на выходе реле запоминается и далее подается на отключение механизмов линии. При этом отключение головного механизма происходит мгновенно, а вот остальные механизмы линии отключаются либо все одновременно с помощью интервального реле B001, либо ступенчато в направлении хода продукта.

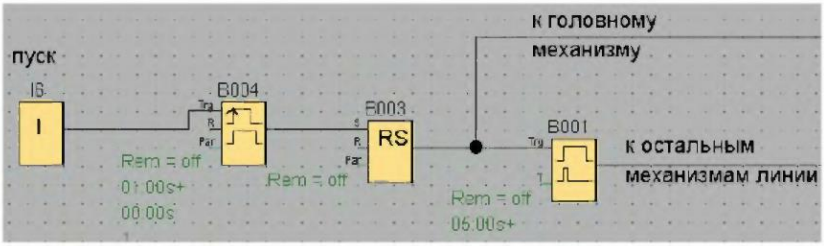


Рис. 5.17. Схема звена «Рабочий стоп»
на языке функциональных блок-схем FBD

На рисунке 5.18 представлена схема управления звена «Рабочий стоп», реализованная на языке релейно-контактных схем LAD.

Пример 5.3. Реализация типовой схемы «Пускосигнальное звено».

Пускосигнальное звено предназначено для предупреждения персонала о запуске механизма. Позволяет включить электродвигатель с задержкой по времени, при этом звучит звуковая сигнализация (рис. 5.19). Помимо I и выходных Q блоков, реле с блокировкой RS и интервальных реле с запуском по фронту B004 и B005, имеются элементы: B001 – интервальное реле (импульсный вход), служащее для отключения с задержкой по времени выходного блока Q1 (звонка); B007 – блок задержки включения (таймер с задержкой включения), производит включение выходного блока Q2 (механизма) с задержкой времени.

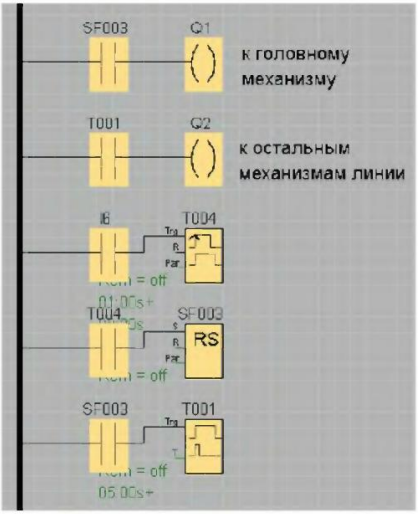


Рис. 5.18. Схема звена «Рабочий стоп»
на языке релейно-контактных схем LAD

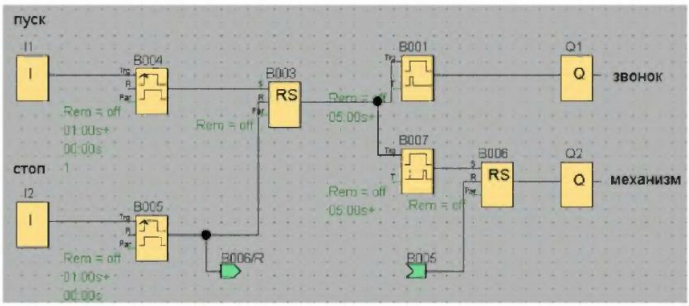


Рис. 5.19. Схема пускосигнального звена
на языке функциональных блок-схем FBD

Все временные задержки настраиваются в программе. В данном примере временные задержки составляют 5 с.

Для упрощения чтения разработанных графических алгоритмов работы системы используют так называемые разрывные линии. При этом происходит графическое разделение выбранной соединительной линии. Тем не менее соединение между блоками продолжает оставаться активным. Открытые концы разрезанного соединения теперь отображаются со значками в виде стрелок, указывающих направление протекания сигнала. Так на нашем

примере связь между блоками B005 и B006 представлена в виде стрелок, название которых указывают адрес присоединения.

Представленная схема пускосигнального звена работает следующим образом. При нажатии на кнопку «пуск» появляется сигнал на выходе блока I1, который, через интервальное реле с запуском по фронту, подается на реле с блокировкой RS. При появлении сигнала на входе S реле с блокировкой, на выходе сигнал запоминается и подается на B001 - интервальное реле и B007 - блок задержки включения. Реле B001 мгновенно пропускает сигнал на определенное время, в нашем случае на 5 с, при этом выходной блок Q1 включен, а следовательно, звенит звонок. Блок задержки включения B007 наоборот пропустит через себя сигнал лишь с выдержкой времени (в нашем случае 5 с). В результате выходной блок Q2 получит сигнал через реле с блокировкой RS и включит механизм.

Для отключения механизма необходимо наличие сигнала на реле с блокировкой RS (B006) на его входе сброса R. Этот сигнал появится лишь при нажатии кнопки «стоп» входного блока I2.

Схема управления пускосигнального звена, реализованная на языке релейно-контактных схем LAD, изображена на рисунке 5.20.

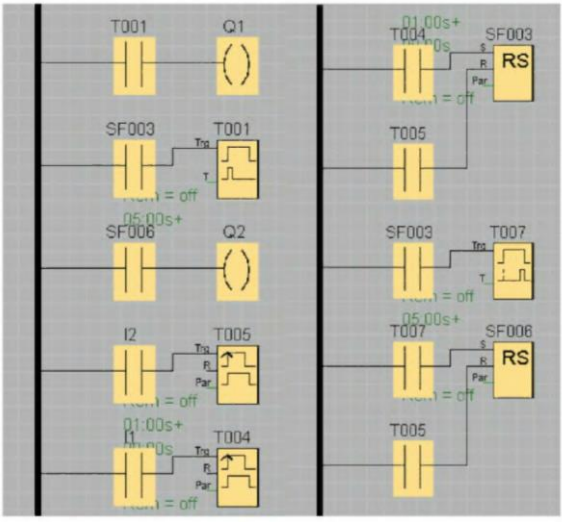


Рис. 5.20. Схема пускосигнального звена
на языке релейно-контактных схем LAD

При нажатии на кнопку «пуск» замыкается контакт I1, который подает сигнал на интервальное реле с запуском по фронту T004, которое уже через свой замыкающий контакт T004 подается на реле с блокировкой RS (SF003). При появлении сигнала на входе S реле с блокировкой его контакт SF003 замыкает цепь с интервальным реле T001, замыкающий контакт которого подаст сигнал через свой контакт T001 на катушку Q1 на время 5с, после которого разомкнется. Это приведет к включению звонка.

Одновременно с появлением сигнала на интервальным реле T001 сигнал поступает на триггер задержки включения T007, контакт которого T007, с задержкой по времени, подаст сигнал на реле с блокировкой RS (SF006), которое, в свою очередь, замкнет цепь с катушкой Q2. Это приведет к включению механизма.

Для отключения механизма необходимо снять питание с катушки Q2. Для этого необходимо нажать на кнопку «стоп» (контакт I2). При этом появится сигнал на входах R реле с блокировкой SF003 и SF006, что приведет к их сбросу.

Пример 5.4. Реализация типовой нереверсивной схемы управления электродвигателем на базе LOGO! (практическая работа № 3).

На основании приведенных выше типовых схем составим программу управления линии измельчения зерна, внешний вид которой изображен на рисунке 5.21. Представленная схема управления состоит из звеньев, рассмотренных ранее.

Реализация других примеров использования LOGO! Siemens. Примеры реализации следующих условий приведена в справочной литературе, с которой необходимо ознакомиться.

1) Освещение лестничной клетки или коридора.

Требования к системе освещения лестничной клетки:

- когда кто-либо пользуется лестницей, освещение лестничной клетки должно быть включено;
- если на лестнице никого нет, то освещение должно выключаться для экономии энергии.

2) Автоматические двери.

Требования к автоматическим дверям:

- когда кто-либо приближается, двери должны автоматически открыться;

- дверь должна оставаться открытой, пока кто-нибудь еще находится в дверном проходе;
- если в дверном проходе больше никого нет, двери должны автоматически закрыться через короткий промежуток времени.

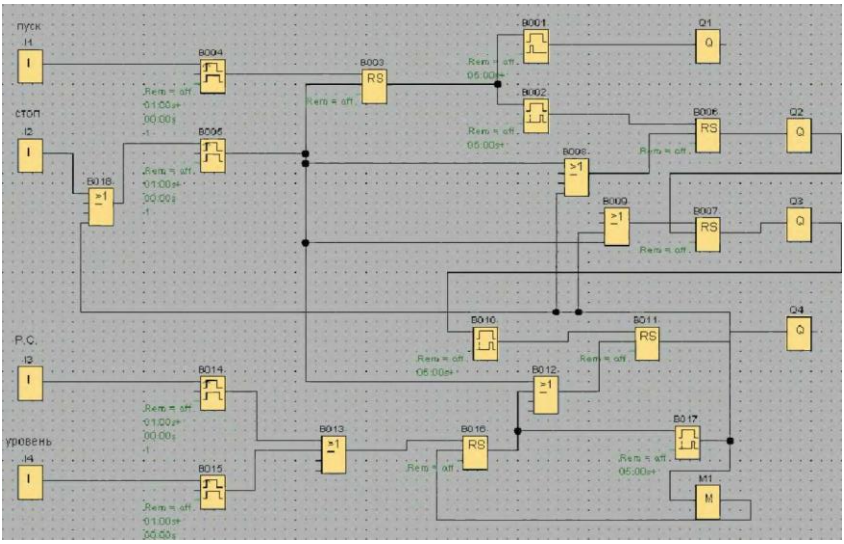


Рис. 5.21. Программа управления линией обработки зерна

3) Система вентиляции.

Требования к системе вентиляции:

- назначение вентиляционной системы состоит в том, чтобы подавать свежий воздух в помещение и вытягивать застоявшийся воздух из помещения;
- в помещении имеется вытяжной вентилятор и приточный вентилятор свежего воздуха;
- оба вентилятора контролируются датчиком потока;
- в помещении никогда не должно возникать избыточное давление;
- приточный вентилятор должен включаться только при условии, что датчик потока сигнализирует о надежной работе вытяжного вентилятора;
- если один из вентиляторов выходит из строя, то загорается предупреждающая лампа.

4) Промышленные ворота.

Требования к системе управления воротами:

- ворота открываются и закрываются нажатием на кнопку в помещении. Одновременно контролируется работа ворот;
- обычно ворота полностью открыты или закрыты, однако перемещение ворот может быть остановлено в любое время;
- предупреждающий сигнал включается за 5 с до начала перемещения ворот, и остается включенным, пока ворота находятся в движении;
- предохранительная планка гарантирует, что при закрытии ворот никто не получит травму и ничто не будет зажато или повреждено.

Управление освещением.

5) Требования к системе освещения:

- отдельные светильники включаются и выключаются на месте;
- если естественное освещение достаточно, то светильники, находящиеся на стороне окна, автоматически выключаются выключателем, реагирующим на яркость;
- лампы автоматически выключаются в 20.00;
- в любой момент времени должна быть возможность включать и выключать лампы на месте.

6) Насос для хозяйственной воды.

В настоящее время в жилых домах все чаще наряду с питьевой водой используют дождевую воду. Это экономит деньги и помогает защитить окружающую среду. Дождевая вода собирается в резервуаре, из резервуара она закачивается насосной станцией в предназначенные для нее трубы. Оттуда она может быть взята, как из обычного водопровода. Чтобы резервуар не опустошался, его можно дополнить питьевой водой.

Требования к системе управления насосом для хозяйственной воды:

- система должна быть готова подавать воду в любое врем. При аварии система управления должна автоматически переключаться на питьевую воду;
- система не должна допускать попадания дождевой воды в водопровод при переключении на питьевую воду;
- насос хозяйственной воды не должен включаться, если в резервуаре недостаточно воды (защита от работы всухую).

Контрольные вопросы

1. Какое оборудование входит в состав серии LOGO!?
2. Какие параметры могут использоваться в условных обозначений модулей LOGO!?
3. Какими показателями характеризуются логические модули LOGO! BASIC?
4. Какими показателями характеризуются логические модули LOGO! PURE?
5. Назовите используемые блоки, соответствующие простейшим логическим операциям.
6. Какие специальные функции используются при создании коммутационных программ?
7. Опишите основные правила при работе с LOGO!.
8. Как реализовать нереверсивную схему управления электродвигателем на базе LOGO!?
9. Как реализовать нереверсивную схему управления электродвигателем на базе LOGO!?
10. Как реализовать схему звена «Рабочий стоп» на базе модуля LOGO!?
11. Как реализовать схему пускосигнального звена на базе модуля LOGO!?

Практическая работа № 6
ИЗУЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОДОСНАБЖЕНИЕМ

Цель работы: ознакомиться с примером реализации автоматизированной системы управления водоснабжением.

Автоматизированная система управления водоснабжением (далее АСУ или система), состоит из аппаратно-программного комплекса (далее АПК) и предназначена для бесперебойной подачи воды потребителям.

АПК состоит из SCADA пакета MasterSCADA, устанавливаемого на ПК в помещении дежурного персонала, микропроцессорных устройств ТРМ138 (универсальный 8-ми канальный измеритель регулятор), МДВВ (модули дискретного ввода вывода), ПКП1 (прибор контроля и управления задвижкой), радиомодемов, преобразователей интерфейса, датчиков уровня, давления и расхода, исполнительных механизмов, системы управления насосами

(рис. 6.1). Модуль дискретного ввода МВ110-16ДН и модуль дискретного вывода МУ110-16Р установлены в помещениях насосной станции и скважины забора воды.

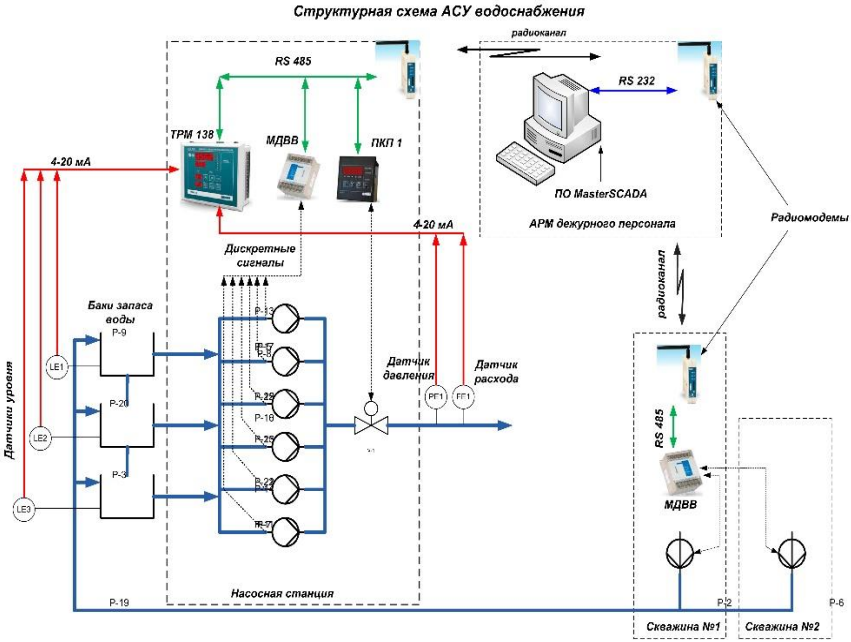


Рис. 6.1 Структурная схема
автоматизированной системы управления водоснабжением

Описание работы АСУ. Поддержание заданного давления в подающем трубопроводе осуществляется каскадным включением 6-ти насосов, алгоритм включения выбирается пользователем в ПО MasterSCADA, осуществляет также контроль за аварийными ситуациями на насосах и включением резервных насосов. Информация об аварии на насосе, работе насоса дублируется и отображается на экране монитора АРМ (автоматизированного рабочего места) с ПО MasterSCADA , через блоки МДВВ, МУ110-16Р, МВ110-16ДН, объединенные в одну локальную сеть с ТРМ138 и ПКП1. На АРМ также выводятся показания датчиков уровней в баках запаса воды L1; L2; L3, давление в подающем трубопроводе Р1, расхода воды к потребителю F1, подключенных к ТРМ 138.

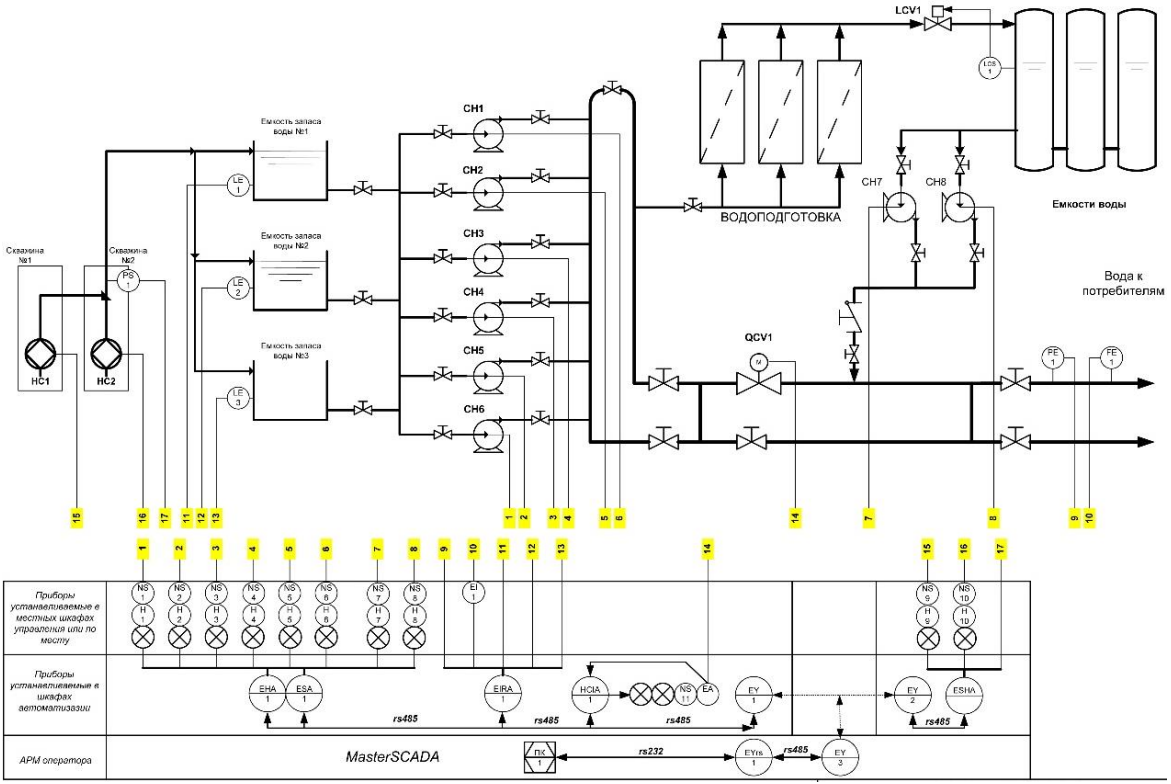


Рис. 6.2. Функционально-технологическая схема автоматизированной системы управления водоснабжением

Таблица 6.1

Спецификация оборудования

Обозначение		Наименование и техническая характеристика	Тип	Кол-во	Прим.
Графич.	Маркир.				
		Приборы по месту			
LE	LE-1, LE-2, LE-3	Преобразователь гидростатического давления (погружной) , предел измерения 0-6м.в.ст., выходной сигнал 4-20 мА.	ПД100-ДГ0,06	3	
PE	PE-1	Преобразователь избыточного давления, предел измерения 0-1,6 МРа, выходной сигнал 4-20 мА.	ПД100-ДИ	1	
FE	FE-1	Первичный преобразователь расхода частотный, предел измерения 0-300 $М^3Ч$	ППР	1	
EI	EI-1	Вычислитель расхода, выходной сигнал 4-20 мА.		1	
PS	PS-1	Датчик-реле давления предел измерения 0,2-0,8 МРа	Д-210	1	
		Приборы в местных шкафах управления			
NS	NS-1, - NS-10	Пускатель электромагнитный	ПМЕ	10	
H	H-1, - H-10	Ключ выбора режима управления	ПК	10	
	L-1, - L-10	Лампа сигнальная		10	
		Приборы в шкафу автоматики №1			
EIRA	EIRA 1	Универсальный измеритель регулятор восьмиканальный ТРМ 138 Р с RS 485	ТРМ 138 Р – Щ7	1	
HCIA	HCIA 1	Устройство управления и защиты электропривода задвижки без применения концевых выключателей ПКП1-Т с RS 485	ПКП1-ТИ	1	
ESA	ESA 1	Модуль дискретного ввода МВ110-16ДН с RS 485	МВ-110 16ДН	1	
EHA	EHA 1	Модуль дискретного вывода МУ110-16Р с RS 485	МУ-110 16Р	1	
EY	EY 1	Радиомодем для систем телеметрии НЕВОД-5	НЕВОД 5	1	
EA	EA 1	Трансформатор тока ТТИ-А 20/5 А	ТТИ-А	1	
NS	NS 11	Пускатель реверсивный КМИ 10911 коммутируемый ток 9А, напряжение катушки управления 230В	КМИ 10911 9А 230В	1	

Обозначение		Наименование и техническая характеристика	Тип	Кол-во	Прим.
Графич.	Маркир.				
		Приборы в шкафу автоматики №2			
ESHA	ESHA-1	Модуль дискретного ввода-вывода МДВВ, 12 каналов дискретного ввода, 8 каналов дискретного вывода, с RS 485	МДВВ	1	
EY	EY-2	Радиомодем для систем телеметрии НЕВОД-5	НЕВОД 5	1	
		Приборы на АРМ оператора			
EY	EY-3	Радиомодем для систем телеметрии НЕВОД-5	НЕВОД 5	1	
EYrs	Eyrs-1	Автоматический преобразователь АС4 USB/RS-485	АС4	1	
ПК 1	ПК-1	Персональный компьютер с установленной SCADA системой MasterSCADA MSRT100 На 100 точек ввода-вывода	ПК	1	

При увеличении расхода воды к потребителю давление в трубопроводе снижается и «системой» включается дополнительный насос.

MasterSCADA также фиксирует увеличение расхода и в случае выхода значения за границы верхней уставки переключает задвижку подачи воды в обход блока водоподготовки, в автоматическом режиме, управление клапаном можно осуществлять вручную как с АРМ, так и по месту с ПКП1.

Для измерения уровня воды в баках применены датчики гидростатического давления, на дисплее ТРМ138 показания отображают в цифровом виде, на мониторе АРМ в цифровом и графическом виде. При понижении уровня ниже минимального, MasterSCADA дает команду на включение скважин, а при увеличении уровня выше максимального – команду на отключение. Связь с блоком МДВВ, установленным в помещении скважины, осуществляется по радиоканалу из-за удаленности. Все значения параметров приходящих на АРМ архивируются (глубина архива не ограничена), могут отображаться как в виде цифровых значений, так в виде графиков или таблиц.

Контрольные вопросы

1. Опишите состав автоматизированной системы управления водоснабжением.
2. Какие основные функции выполняет система?
3. Опишите функции универсального измерителя регулятора ТРМ 138.
4. Какие датчики используются в системы управления водоснабжением?
5. Опишите аппаратно-программный комплекс системы.
6. Опишите принцип работы автоматизированной системы управления водоснабжением.

Практическая работа № 7
ИЗУЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВЕСОВОГО ДОЗИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: ознакомиться с примером реализации автоматизированной системы весового дозирования сыпучих материалов.

Весовое дозирование используется во многих технологических процессах. Система весового дозирования предназначена для автоматического взвешивания и дозирования с высокой точностью, фасовки сыпучих материалов в мешки.

Технологический цикл весового дозирования. Вес материала измеряется тремя тензометрическими датчиками. При наборе требуемой массы дозирующая заслонка регулирует точность досыпки материала. Положение заслонки контролируют два датчика: один датчик – закрытое положение, другой – среднее.

После установки мешка на патрубок по команде оператора осуществляется раздув мешка воздухом и его загрузка материалом через заслонку. Одновременно с этим работает аспирация, которая включается с задержкой по времени. После заполнения мешок перемещается транспортером. Освободившееся место контролируется оптическим датчиком. При заполнении транспортера мешками срабатывает датчик положения аналогичного типа.

Аппаратные средства управления. Основные средства автоматизации размещены в щите, находящемся в помещении.

Систему управления образуют следующие приборы (рис. 7.1): программируемый логический контроллер ПЛК110-220.32; модуль

ввода сигналов тензодатчиков МВ110-224.1ТД; сенсорная панель оператора СП270; модуль сбора данных МСД200; светодиодный индикатор СМИ2.

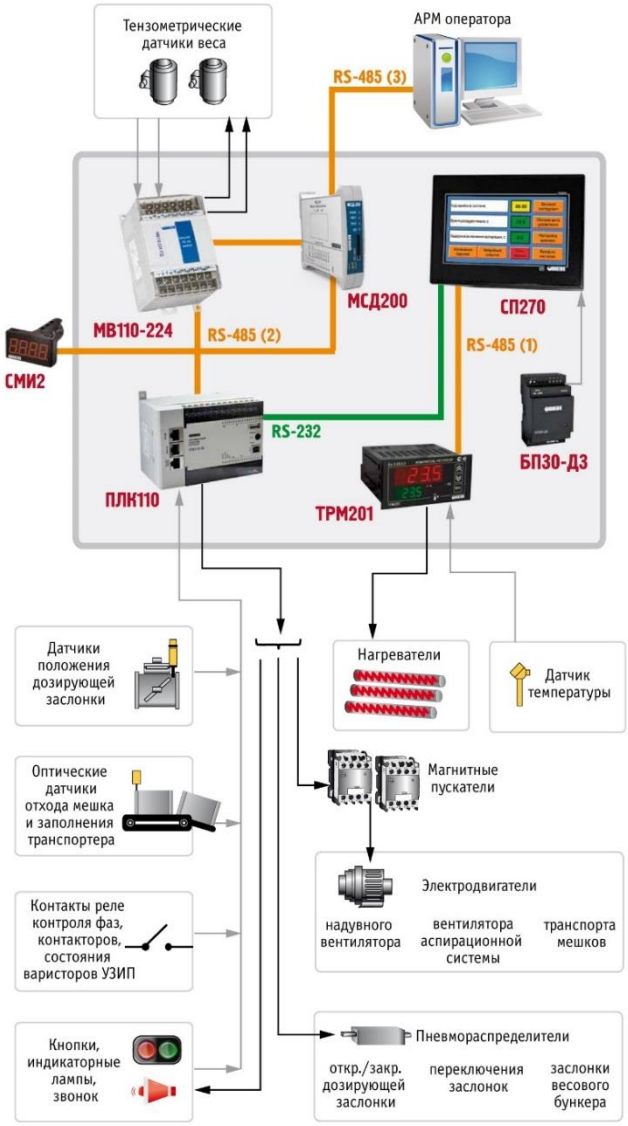


Рис. 7.1. Функциональная схема линии весового дозирования

В качестве основного управляющего устройства используется контроллер ПЛК110 с требуемым количеством дискретных входов/выходов и интерфейсов связи. Программа управления ПЛК110 обеспечивает выполнение всего технологического цикла: загрузку бункера, раздув и заполнение мешка, его перемещение. Для удобного завершения работы предусмотрен специальный режим управления транспортером.

Один из алгоритмов, созданных на ПЛК, позволяет повысить точность дозирования за счет непрерывного контроля массы пустого бункера. Программа отстраивается от ряда факторов, влияющих на точность дозирования: налипания материала на стенки бункера, вибрации подающего транспортера, вентилятора и др.

На рабочем месте оператора линии установлен выносной пульт управления с кнопками и компактным светодиодным индикатором СМИ2. Индикатор СМИ2 служит удобным средством отображения оперативной информации, на него выводятся данные в текстовом и числовом формате: режим работы, выполняемая операция, масса материала в весовом бункере, состояние системы и др.

Режимы работы АСУ. Система имеет три основных режима работы:

- автоматический;
- ручной (выполнение отдельных операций технологического цикла);
- режим наладки (для пуско-наладочных работ и настройки оборудования).

Гибкость управления и эффективность работы линии обеспечивается за счет функции досрочного завершения любой операции, а также повторного раздува мешка по сигналу оператора. Кроме того, в ручном режиме управления реализована функция досыпки, которой удобно пользоваться при перестройке системы на материал с другой насыпной плотностью.

Постоянно работающая самодиагностика системы позволяет выявлять различные нештатные ситуации. При аварии включается световая и звуковая сигнализация. В случае выявления критического события происходит отключение всех электроприводов и перевод заслонок в закрытое положение.

Графический интерфейс оператора. Управление линией весового дозирования сыпучих материалов качественно улучшено

за счет применения HMI-средств: светодиодного индикатора СМИ2 и панели СП270 с простым, интуитивно понятным графическим интерфейсом оператора, который позволяет легко настраивать систему на требуемую массу и точность дозирования материала, менять параметры работы установки, оперативно отслеживать состояние системы и пр.

Для проведения технологических работ обслуживающему персоналу необходимо пройти авторизацию. В зависимости от уровня доступа имеются разграничения:

- ОПЕРАТОР;
- ТЕХНОЛОГ;
- НАЛАДЧИК.

Последний обладает полным доступом к настройкам и управлению системы.

Экраны графического интерфейса панели СП270 в значительной степени облегчают настройку и отладку системы управления. Кнопки и индикаторные лампы в левой области главного экрана панели представляют собой графический пульт управления (рис. 7.2). Их функциональность аналогична кнопкам и лампам выносного пульта управления.

Рис. 7.2. Главный экран СП270

Контроллер реализует самодиагностику системы управления и выявляет 12 возможных аварийных событий. Критические события, при которых дальнейшая эксплуатация системы невозможна, заносятся в ПЗУ панели СП270. Их просмотр возможен на экране «Аварийные события».

Задание требуемой массы и точности дозирования осуществляется на экране «Настройки 1 весового инструмента» (рис. 7.3).

Для более детальной настройки весового инструмента предусмотрен экран «Настройки 2 весового инструмента» (рис. 7.4). Для контроля процесса фасовки информация по последним 50 мешкам заносится в ОЗУ панели СП270 и отображается на экране «Статистика работы».

Дополнительный функционал. Статистические данные работы линии записываются модулем МСД200 в файл на SD-карту памяти. По запросу эта информация передается на удаленный ПК и загружается в базу данных программы 1С для последующей обработки и анализа.

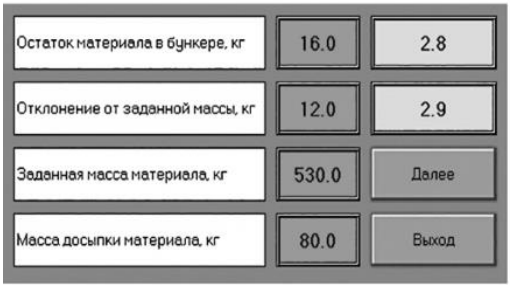


Рис. 7.3. Экран «Настройки 1 весового инструмента»

Рис. 7.4. Экран «Настройки 2 весового инструмента»

Имеется локальная система обогрева щита управления с индикацией внутренней температуры воздуха на базе измерителя-регулятора ОВЕН ТРМ201. Доступ к настройкам терморегулятора ограничен (кнопки ТРМ201 заблокированы) и возможен только

через отдельный экран графического интерфейса. Кроме установки требуемой температуры возможен переход на ручной режим управления, а также скрытая возможность блокировки/разблокировки кнопок ТРМ201. Для улучшения условий работы в зимнее время производится подогрев пола площадки оператора. Регулирование температуры нагрева пола осуществляется вручную (без обратной связи) с помощью твердотельного реле HD-2544.VA.

Контрольные вопросы

1. Опишите состав автоматизированной системы весового дозирования.
2. Какие основные функции выполняет система?
3. Какими аппаратными средствами представлена автоматизированная система весового дозирования?
4. Опишите функции графической панели СП270.
5. Опишите технологический цикл весового дозирования.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Бородин, И. Ф. Автоматизация технологических процессов / И. Ф. Бородин, Ю. А. Судник. – М. : КолосС, 2007. – 344 с.

2. Гордеев, А. С. Основы автоматики : учебное пособие. – Электрон. дан. – Мичуринск : Мичуринский ГАУ, 2006. – 213 с. http://window.edu.ru/resource/503/64503/files/0284.pdf.

3. Шишкова, М. Г. Автоматика и автоматизация производственных процессов : курс лекций / М. Г. Шишкова. Красноярск : СибГТУ, 2012. – 200 с. http://rucont.ru/efd/282792.

4. Борисов, А. М. Программируемые устройства автоматизации : учебное пособие / А. М. Борисов, А. С. Нестеров, Н. А. Логинова. – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 186 с. http://window.edu.ru/resource/558/77558.

5. Николаенко, С. А. Автоматизация технологических процессов / С. А. Николаенко, Д. С. Цокур, Д. П. Харченко [и др.]. – Краснодар : Изд-во ООО «КРОН», 2016. – 218 с.

6. Гриднева, Т. С. Автоматика : практикум / Т. С. Гриднева, С. С. Нугманов, С. В. Машков [и др.]. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2016. – 108 с.

7. ПР114 программируемое реле с поддержкой аналоговых сигналов для локальных систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://owen.ru/product/pr114. – Загл. с экрана.

8. Логические модули LOGO! [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.siemens-ru.com/taxonomy/term/11. – Загл. с экрана.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Практическая работа № 1. Изучение законов регулирования ... 4

Практическая работа № 2. Изучение релейно-контактных схем управления технологическими процессами 12

Практическая работа № 3. Изучение схемы управления на базе релейно-контактных схем 19

Практическая работа № 4. Изучение программируемого реле серии ПР114 «ОВЕН» 22

Практическая работа № 5. Изучение программируемого реле LOGO! SIEMENS 40

Практическая работа № 6. Изучение автоматизированной системы управления водоснабжением 58

Практическая работа № 7. Изучение автоматизированной системы управления весовым дозированием сыпучих материалов 63

Рекомендуемая литература 69

Учебное издание

Гриднева Татьяна Сергеевна
Крючин Павел Владимирович

АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Методические указания
для выполнения практических работ

Отпечатано с готового оригинал-макета
Подписано в печать 30.12.2019. Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л. 4,13; печ. л. 4,44.
Тираж 50. Заказ № 456.

Редакционно-издательский отдел ФГБОУ ВО Самарского ГАУ
446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2
Тел.: 8 939 754 04 86 доб. 608
E-mail: ssaariz@mail.ru

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Самарская государственная сельскохозяйственная академия»

Система мониторинга объектов ГЛОНАССсофт «АгроТехнология 2.0»

Учебное пособие содержит сведения, необходимые для формирования профессиональных компетенций при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Агроинженерия», и рекомендуется Научно-методическим советом по технологиям, средствам механизации и энергетическому оборудованию в сельском хозяйстве Федерального УМО по сельскому, лесному и рыбному хозяйству для использования в учебном процессе

Кинель 2018

УДК 004.3:004.45:629.1.05:631.15:631.17
С40

Рецензенты:
д-р техн. наук, проф., руководитель центра прогнозирования и мониторинга в области точного сельского хозяйства, зав. кафедрой «Эксплуатация машинно-тракторного парка» ФГБОУ ВО Кубанского ГАУ
Е. В. Труфляк;
д-р техн. наук, проф. кафедры «Технологии и средства механизации АПК» Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО Донского ГАУ
А. Ю. Несмиян;
канд. техн. наук, доцент кафедры «Технологии и средства механизации АПК» Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО Донского ГАУ
А. Н. Глобин

Коллектив авторов:
Т. С. Гриднева, С. В. Машков,
П. В. Крючин, С. И. Васильев,
В. Н. Криворотько, Д. В. Юренков

С40 Система мониторинга объектов ГЛОНАССсофт «АгроТехнология 2.0» : учебное пособие / Т. С. Гриднева, С. В. Машков, П. В. Крючин [и др.]. – Кинель : РИО СГСХА, 2018. – 140 с.
ISBN 978-5-88575-507-8

В пособии представлены материалы, необходимые для самостоятельного изучения систем мониторинга объектов на примере системы «АгроТехнология 2.0».

Учебное издание предназначено для обучающихся по направлению «Агроинженерия». Издание может быть полезно работникам различных отраслей агропромышленного комплекса.

УДК 004.3:004.45:629.1.05:631.15:631.17

ISBN 978-5-88575-507-8

© Гриднева Т. С., Машков С. В., Крючин П. В.,
Васильев С. И., Криворотько В. Н., Юренков Д. В., 2018
© ФГБОУ ВО Самарская ГСХА, 2018

ПРЕДИСЛОВИЕ

Пособие состоит из трех разделов, подробно описывающих порядок работы с программной платформой «ГЛОНАССсофт» и со специализированным решением на основе данной платформы – системой мониторинга «АгроТехнология 2.0».

Цель учебного пособия – помочь обучающимся изучить назначение, состав, применяемое оборудование и отраслевые решения системы спутникового мониторинга объектов.

Пособие содержит необходимые теоретические сведения, графический материал, позволяющий наглядно представить порядок работы. В конце каждого подраздела представлены контрольные вопросы, которые позволят обучающимся проверить степень теоретической подготовленности. Для большей наглядности пособие снабжено приложением.

В процессе изучения учебного пособия у обучающихся должны формироваться следующие профессиональные компетенции:

– готовность к использованию технических средств автоматики и систем автоматизации технологических процессов;

– способность использовать информационные технологии при проектировании машин и организации их работы (уровень бакалавриата);

– способность анализировать современные проблемы науки и производства в агроинженерии и вести поиск их решения;

– способность и готовность организовывать на предприятиях агропромышленного комплекса (АПК) высокопроизводительное использование и надежную работу сложных технических систем для производства, хранения, транспортировки и первичной переработки продукции растениеводства и животноводства (уровень магистратуры).

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время информационные технологии прочно вошли практически во все сферы деятельности человека. Автоматизированные системы управления технологическими процессами, программные комплексы, глобальные системы позиционирования, геоинформационные системы становятся неотъемлемой частью и современного агропромышленного производства.

Применение современных систем сбора данных, программных комплексов по обработке полученной информации позволяет решать большое количество задач, связанных с планированием, прогнозом, анализом и моделированием сельскохозяйственных процессов и современных агротехнологий.

Комплекс таких программно-технических средств может включать следующие компоненты:

– технические средства (датчики, системы параллельного вождения, пробоотборники, устройства для почвенного анализа, системы дифференцированного внесения удобрений и др.);

– мониторинг сельскохозяйственных угодий (мониторинг границ полей, картирование урожайности и др.);

– мониторинг техники (автоматизированный сбор данных на основе GPS/ГЛОНАСС навигации, визуализация (треки) перемещений техники, оперативный учет сельскохозяйственных работ);

– технологическое планирование и управление (технико-экономическое, оперативное планирование, учет сельскохозяйственной продукции);

– финансовый учет и анализ.

Внедрение высокоэффективных программно-технических средств для сбора и обработки информации в сельском хозяйстве требует высокого уровня профессиональной подготовки специалистов и владения информационными технологиями. Изучение современных программно-технических средств – важная составляющая часть в системе подготовки бакалавров и магистров по направлению «Агроинженерия».

Платформа мониторинга «ГЛОНАССсофт» – это аппаратно-программный комплекс, позволяющий осуществлять мониторинг объектов – транспортных средств, сельскохозяйственной техники

и др. в режиме реального времени. Используя платформу и специализированное решение «АгроТехнология 2.0», предприятия АПК могут самостоятельно создавать системы любой сложности, с разными функциональными характеристиками.

Оптимизация расхода топлива с помощью современных систем контроля расхода топлива и систем спутникового онлайн-мониторинга позволяет компаниям контролировать использование топлива и экономить на этом значительные средства.

Специальная функция «Годовое планирование» позволяет планировать годовой урожай, технологические операции, объём, начало/окончание работ, количество задействованной техники и прочих параметров отдельно для каждой культуры. Функция «Оперативное планирование» позволяет вносить дополнения и коррективы в технологические операции на основе годового планирования. «Учёт факта» выполненных работ на полях помогает решать вопросы контроля фактических данных о площадях и времени их обработки, расходе топлива и т. п.

«Агроанализ» – функция программы, обеспечивающая обработку, систематизацию и представление данных для последующего принятия управленческих решений.

Внедрение подобных решений дает возможность предприятиям АПК наладить процессы планирования, контроля и учёта материально-технических ценностей, сельскохозяйственного транспорта, выявлять неэффективные поля, прогнозировать и предотвращать потери, выполнять учет исполнителей по каждой операции и многолетний мониторинг эффективности.

1. Общие сведения о системе спутникового мониторинга объектов «ГЛОНАССсофт»

Система спутникового мониторинга «ГЛОНАССсофт» строится на основе платформы «ГЛОНАССсофт» и устанавливаемых на объекты мониторинга оборудования и датчиков. В качестве объектов мониторинга может быть любая техника – тракторы, спецтехника, легковые и грузовые автомобили, комбайны, топливозаправщики и др., а также стационарные объекты, например, буровые установки, заправочные колонки и другие объекты.

Платформа «ГЛОНАССсофт». Платформа «ГЛОНАССсофт» представляет собой автономный программный комплекс, осуществляющий приём, обработку, анализ и ретрансляцию телематических данных, получаемых от навигационного ГЛОНАСС/GPS-оборудования. Платформа предназначена для организации систем мониторинга объектов и может применяться для создания диспетчерского центра предприятия или компании, предоставляющей услуги мониторинга. Встроенные возможности платформы позволяют производить разработку собственных решений.

Платформа имеет веб-интерфейс и осуществляет мониторинг транспортных средств в режиме реального времени (рис. 1.1), предоставляет удобный доступ к данным и может решать самый широкий круг задач.

По своей архитектуре платформа является ядром, на котором работают основные и дополнительные компоненты платформы, а также дополнительные продукты. Исходя из потребностей на основе платформы «ГЛОНАССсофт» можно создавать системы различной степени сложности с различными функциональными возможностями. При необходимости в любой момент в систему можно добавить дополнительные компоненты и модули.

На контролируемые транспортные средства и другие объекты мониторинга устанавливаются абонентские терминалы – трекеры GPS/ГЛОНАСС – специализированные цифровые устройства приёма/передачи данных через спутники глобальных навигационных систем, передающие данные о местоположении объектов. Информация с датчиков и другого оборудования, установленного

на объекты, поступает на сервер и обрабатывается в программном обеспечении «ГЛОНАССсофт».

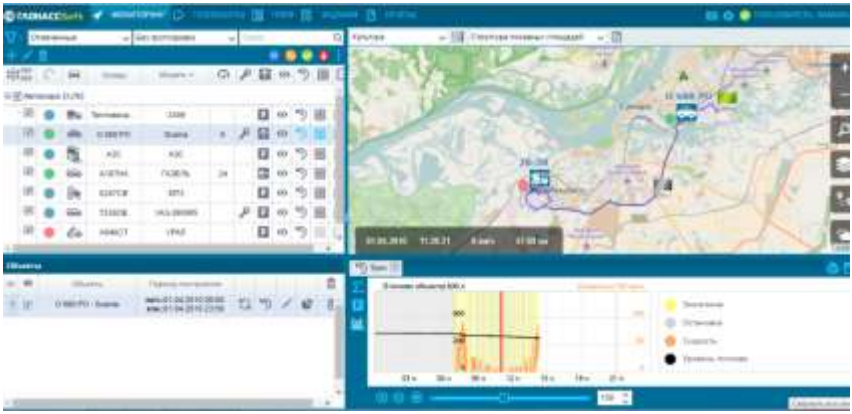


Рис. 1.1. Веб-интерфейс платформы «ГЛОНАССсофт»

Решения «ГЛОНАССсофт»

Отраслевые решения «ГЛОНАССсофт» – это уже готовые наборы компонентов и модулей, сформированные в зависимости от потребностей конечных пользователей. Используя платформу, различный набор компонентов и дополнительных продуктов, можно самостоятельно создавать системы любой сложности, с разными функциональными характеристиками, а также добавлять необходимые компоненты.

Решения «ГЛОНАССсофт» применимы в следующих отраслях:

- общественный транспорт;
- логистика;
- грузоперевозки;
- спецтехника;
- техника ЖКХ;
- нефтегазовая отрасль;
- сельское хозяйство.

Мониторинг общественного транспорта. Контролируемый транспорт: автобусы, микроавтобусы, троллейбусы, трамваи.

Логистика. Системы спутникового контроля устанавливают на все основные виды транспорта, использующегося в логистике и

дистрибуции: мопеды и мотоциклы; легковые автомобили; микроавтобусы.

Используемое в данных решениях оборудование ГЛОНАСС/GPS:

- абонентский терминал;
- датчик уровня топлива;
- тревожная кнопка;
- комплект связи с водителем.

Грузоперевозки. Системы спутникового контроля могут устанавливаться на все основные виды автотранспорта, использующегося в грузоперевозках.

Спецтехника. Системы спутникового контроля устанавливаются на все основные виды спецтехники: бульдозеры, экскаваторы и погрузчики; автокраны; дорожно-строительную технику; карьерную технику; дизельные электростанции.

Нефтегазовая отрасль. Установка систем ГЛОНАСС/GPS-слежения возможна на все основные виды транспорта, использующегося в нефтегазовой отрасли: бульдозеры, экскаваторы; автокраны; карьерную технику; дизельные электростанции; тягачи; самосвалы; легковые автомобили; буровые установки.

Техника ЖКХ. Системы спутникового слежения устанавливаются на все основные виды транспорта, использующегося в ЖКХ: бульдозеры, экскаваторы и погрузчики; автокраны; мусоровозы.

Помимо онлайн мониторинга и контроля за расходом топлива, на мусоровозы устанавливаются и подключаются датчики положения механизма для фиксации загрузки и разгрузки.

В системе заранее создаются специальные зоны – геообъект, в пределах которых мусоровозу разрешено загружать и разгружать мусор. В программе фиксируются все загрузки и разгрузки, что позволяет строить аналитические отчёты о работе транспорта.

В отчётах отображаются фактические загрузки и разгрузки с указанием длительности и геообъектов, в которых работали мусоровозы. Если фиксируются загрузки и разгрузки в запрещённых местах, то данные сразу показываются в отчётах, а ответственное лицо получает уведомление на электронную почту. В письме указывается номер транспорта, место на карте.

В отчёте по датчикам можно увидеть общее количество загрузок и разгрузок; работу мусоровозов в разрешённых геозонах;

работу в неразрешённых геозонах; подробный список всех загрузок/разгрузок с указанием точного времени, адреса и геозоны.

Сельское хозяйство. Для отрасли сельского хозяйства применяется решение «АгроТехнология 2.0». Системы ГЛОНАСС/GPS-мониторинга устанавливаются на все основные виды сельскохозяйственной техники: тракторы, комбайны, а также легковые и грузовые автомобили.

Во всех отраслях система мониторинга «ГЛОНАССсофт» позволит вести контроль местоположения техники в режиме реального времени; расход топлива; скоростного режима; посещения контрольных точек.

Система дает возможность контролировать местоположение техники в режиме реального времени с любого устройства, имеющего доступ к сети интернет.

Благодаря установке датчиков уровня топлива можно точно узнать, сколько топлива было потрачено, какой был средний расход, объем, время, место сливов и заправок.

Система спутникового контроля «ГЛОНАССсофт» позволит пресечь превышения скорости. Руководитель может узнавать о превышении скорости любым удобным способом: в отчёте за любой период времени в течение года; смс-уведомлением на телефон; уведомлением на электронную почту; онлайн в программе мониторинга.

Система также позволит контролировать фактическое посещение контрольных точек. Установка ГЛОНАСС/GPS терминалов позволит сократить время доставки, оптимизировать маршрут, максимально эффективно использовать технику, исключить неоправданные перерывы, использование транспорта в личных целях и т.д.

Рекомендуемые виды ГЛОНАСС/GPS-оборудования для спецтехники, нефтегазовой отрасли, грузоперевозок и ЖКХ:

- ГЛОНАСС/GPS-абонентский терминал;
- датчик уровня топлива;
- механический концевой выключатель;
- тревожная кнопка;
- комплект связи с водителем;
- датчик открытия двери;
- датчик работы механизма;

- датчик аварийного давления.

Мониторинг техники обеспечивает повышение экономических показателей работы транспортного комплекса, минимизирует затраты на эксплуатацию транспорта и содержание автопарка, максимизирует прибыль, обеспечивает безопасность транспортной работы и повышает конкурентоспособность компании за счёт многих факторов:

- эффективного автоматизированного управления автопарком;
- оперативного онлайн-контроля и слежения за транспортом;
- оптимизации работы диспетчерской службы;
- повышения дисциплины водителей и диспетчеров;
- повышения оборачиваемости рейсов;
- предотвращения простоев и потерь рабочего времени;
- экономии на ГСМ путем контроля и анализа заправок и сливов, продажи топливных талонов и т.д.;
- минимизации затрат на ремонт путем снижения непродуктивного пробега автотранспорта;
- исключения нецелевого использования транспорта, «левых рейсов»;
- обеспечения мобильности, скорости и ритмичности грузоперевозок;
- уменьшения ставок страхования путем снижения страховых рисков;
- улучшения сервиса для грузовладельца путем доставки продукции «точно в срок»;
- обеспечения высокой сохранности груза;
- снижения затрат на ДТП путем контроля и соблюдения ПДД.

Основное оборудование систем мониторинга

Абонентский терминал на платформе УМКа300. Терминалы на платформе УМКа300 (рис. 1.2) представляют собой гибкое, функциональное и экономичное решение, для реализации проектов спутникового мониторинга.

Терминалы УМКа300 устанавливаются на транспортные средства и другие объекты мониторинга для регистрации местоположения, скорости и направления их движения. Дополнительно фиксируются такие параметры как состояние аналоговых и цифровых входов и показания подключенных датчиков. Дискретный

вход позволяет удаленно управлять внешним оборудованием через терминал, используя команды по GPRS или SMS.

Рис. 1.2. Абонентский терминал УМКа300

Рис. 1.3. Датчик уровня топлива «Эскорт ТД-500»

Данные, зафиксированные терминалом, сохраняются в энергонезависимой памяти и отправляются с помощью технологии пакетной передачи данных GPRS через сотовую сеть стандарта GSM на выделенный сервер, где доступны для дальнейшего анализа и обработки на пультах диспетчеров через сеть интернет.

В базовую комплектацию терминала на платформе УМКа300 входят встроенные антенны GSM и GLONASS/GPS, акселерометр, разъёмы для двух SIM-карт, аналоговые и дискретные входы и выходы, интерфейсы RS-485, 1-Wire и USB.

Возможности устройства могут быть увеличены за счёт расширения комплектации и подключения дополнительного оборудования, такого как видеорегистратор, камера, датчики уровня и расхода топлива, работы механизма, температуры и т. п.

Современный сертифицированный ГЛОНАСС/GPS-приёмник построен на базе чипсета MT3333, который обеспечивает быстрое определение местоположения в сложных условиях. Также характеризуется компактным корпусом, возможностью приема сигналов GSM и ГЛОНАСС/GPS, простотой в установке, возможностью удалённого обновления прошивки терминала через GPRS, широким диапазоном питающего напряжения (гарантированная работа от 8 до 40 В), встроенной защитой от кратковременных скачков напряжения – до 600 В, открытым и гибким протоколом, поддерживаемым большинством телематических серверов (Wialon Hosting, Omnicomm Online, Fort Monitor и т. д.). Имеется

поддержка доменного имени в качестве адреса сервера, парольная защита терминала и SIM-карты от несанкционированного управления, сертификат РСТ.

Технические характеристики

Количество каналов ГЛОНАСС/GPS-приёмника……..……..32
Стандарт связи…….…….GSM 900/1800, GPRS Multi-slot Class ..12
Кол-во аналоговых/дискретных входов…….....2
Кол-во импульсных/дискретных входов…….2
Тип выхода…….....«Открытый коллектор»
Интерфейс…….....RS-485, 1-Wire
Размер чёрного ящика…….…..55 000 записей
Количество SIM-карт……2
Управление через……..USB, SMS, GPRS
Напряжение питания……..…...+8...+40 В
Габаритные размеры……....90×60×32 мм

Датчик уровня топлива «Эскорт ТД-500». Датчик уровня топлива «Эскорт ТД-500» (рис. 1.3) может быть установлен вместо штатного датчика уровня топлива с аналогичным фланцем, крепление которого обычное для поплавковых автомобильных датчиков уровня топлива в СНГ.

Датчик уровня топлива преобразует уровень в цифровой код и передаёт значение по интерфейсу RS-485. Измеритель имеет выход аналогового сигнала для подключения к стрелочному указателю уровня и выход для индикации аварийного остатка топлива.

Датчик уровня топлива «Эскорт ТД-500»:

- выдаёт сигнал на штатный указатель уровня топлива;
- сигнал аварийного остатка топлива;
- перепрошивается в полевых условиях;
- имеет возможность дистанционного смещения уровней;
- может быть запаролен;
- выпускается в четырёх стандартных вариантах L1000, L1500, L2000, с возможностью удлинения до 6 м;
- после подрезки может иметь длину до 15 см;
- имеет сертификаты взрывобезопасности и метрологии.

Технические характеристики

Измеряемая среда……..бензин, дизельное топливо
Взрывоопасные смеси
по ГОСТ Р 51330.11…….....категории IIA, IIB, групп T1-T6
Протокол цифрового
выходного сигнала…….....RS-485 19200 bps
Вид выходного сигнала……..……RS-485, частотный сигнал,
аналоговый сигнал, импульсный
Разрешающая способность цифрового
выходного сигнала…….0,1 %
Разрешающая способность аналогового
выходного сигнала……...0,25 %
Диапазон частотного сигнала……...300-1300 Гц
Сопротивление выхода индикатора
уровня……....0-110 Ом ±10%
Уровень аварийного остатка топлива……...10% ±2%
Точность измерения в рабочей области
не менее……1 %
Нелинейность характеристики не менее……...….1 %
Вид взрывозащиты – искробезопасная
электрическая цепь уровня…..«ia»
Маркировка взрывозащиты……0ExiaIIBT6 X
Степень защиты оболочки по ГОСТ 14254……..IP67
Защита от поражения
электрическим током по ГОСТ 12.2.007.0…….класс III
Номинальное напряжение питания……..…..9-36 В
Потребляемый ток, не более……...30 мА
Условия эксплуатации
(диапазон температуры окружающей среды)…..от минус 40 до плюс 50^0C
Условия эксплуатации
(атмосферное давление)……..от 84 до 106,7 кПа
Длина измерительной части……..500, 750, 1000, 1500 мм
Габаритные размеры не более……..540×80×80 мм
Масса датчика не более……...….0,5 кг

Режимы работы датчика. *Режим RS-485.* В этом режиме датчик ждет запроса со стороны внешнего устройства. Через 2-3 мс после получения запроса, датчик посылает ответ, который содержит информацию об уровне и температуре. Обслуживаются только те запросы, в которых сетевой адрес совпадает с адресом, записанным в память датчика.

Частотный режим. В этом режиме датчик непрерывно формирует частоту, соответствующую измеренному уровню. Нулевому уровню соответствует частота 300 Гц. Максимальному уровню соответствует частота 1323 Гц. При неправильной установке максимального уровня частота может быть выше или ниже 1323 Гц. Частота начинает формироваться через 60-90 с после включения питания датчика.

Аналоговый режим. В этом режиме датчик формирует аналоговое напряжение, соответствующее измеренному уровню. Нулевому уровню соответствует напряжение 0,1 В, максимальному уровню соответствует напряжение 4,9 В. При неправильной установке максимального уровня может произойти ограничение напряжения на уровне 4,9 В.

Периодический режим. В этом режиме датчик формирует пачку импульсов частотой 50 Гц. Количество импульсов в пачке соответствует замеренному уровню. Нулевому уровню соответствует пачка из 2-х импульсов, максимальному уровню соответствует пачка из 1025 импульсов. Между пачками формируется временной интервал 62 с. Первая пачка импульсов формируется через 60-90 с после включения питания датчика.

Дополнительное оборудование

Гарнитура голосовой связи. Гарнитура (рис. 1.4) предназначена для подключения к терминалам УМКа, работает в режиме *«Hands Free»*, не требуется переключения режимов *«Диспетчер»/«Водитель»*. Предусмотрена функция *«Тревожная кнопка»*.

Рис. 1.4. Гарнитура голосовой связи

Рис. 1.5. Камера видеонаблюдения

Технические характеристики

Мощность динамика……0,7 Вт
Сопротивление……....8 Ом
Разъем для подключения……Jack 3,5 мм (2 шт.)
Тип микрофона……электретный
Пластик……ABS
Габаритные размеры……...80×50×25 мм
Длина кабеля……1300-2300 мм
Масса, не более……130 г

Устройство обеспечивает голосовую двухстороннюю связь водителя и диспетчера при помощи громкоговорителя. Имеет световую индикацию входящего вызова, простоту в установке, компактный корпус, сертификат РСТ.

Камера видеонаблюдения. В основе купольной камеры видеонаблюдения с ИК-подсветкой (рис. 1.5) лежит светочувствительная матрица. В данной камере используется 1,3 МП светочувствительный сенсор с 1280×960 эффективными пикселями, что позволяет достичь разрешающей способности камер до 700 ТВЛ.

Технические характеристики

Горизонтальный угол обзора (min/max)……80/80
Тип матрицы……1/3” CCD
TV стандарт……PAL/NTS
Горизонтальное разрешение……..700 ТВЛ
Синхронизация……внутренняя
Дальность ИК……..20 м
Компенсация засветки (BLC)……авто
Режим «день/ночь»……..электронный
Диапазон рабочих температур…….от минус 40 до плюс 60^0C
Напряжение питания……12 В DC
Габаритные размеры……..89,6×59,1×87,6 мм
Вес……400 г

Встроенная ИК-подсветка обеспечивает визуальный контроль на расстоянии до 20 м даже при отсутствии внешнего освещения. Механический ИК-фильтр обеспечивает высокое качество изображения днём и чувствительность ночью. Имеет HDR – функцию широкого динамического диапазона до 115 дБ, ALTM (Adaptive Local Tone Mapping) – тоновую корректировку цвета каждого пикселя, которая позволяет добиться более правильной цветопереда-

чи; Smart IR-адаптивную ИК-подсветку, позволяющую компенсировать излучение ИК-диодов камеры, отраженное от близкорасположенных объектов. Максимальная эффективность видеокамеры достигается в комплексе с видеорегистраторами RVi, поддерживающими запись с разрешением 960 H.

Видеорегистратор. Компактный видеорегистратор (рис. 1.6) устанавливается в приборную панель транспортного средства. Он специально адаптирован для общественного транспорта, спецтранспорта для перевозки заключенных, бронеавтомобилей и автомобилей инкассации, сельскохозяйственной и строительной техники. Вибро-ударопрочный корпус и все элементы устойчивы к механическим воздействиям. Устройство имеет разъемы для единовременного подключения до четырех камер видеофиксации и микрофонов. Данные поступают на монитор в реальном времени. Также устройство оборудовано жестким диском HDD 2,5 SATA (до 1 ТБ), что позволяет обеспечить запись и хранение поступающей информации.

Встроенный UPS со временем работы до 5 с защищает регистратор от сбоев в работе. Питание необходимого оборудования для видеонаблюдения (камеры, микрофоны и др.) выполняется от самого видеорегистратора.

Также предусмотрена возможность удаленного подключения по сетям 3G и Wi-Fi для выполнения настроек видеорегистратора, наблюдения и переноса записанной видео/аудио информации на рабочие места. Данные GPS/ГЛОНАСС, скорость, координаты, время, дата и идентификационный номер транспортного средства отображаются на записанной видеоинформации.

Рис. 1.6. Видеорегистратор

Рис. 1.7. Плата расширения

Питание необходимого оборудования для видеонаблюдения (камеры, микрофоны и др.) выполняется от самого видеорегистра-

тора. Встроенный UPS со временем работы до 5 с защищает регистратор от сбоев в работе. Имеется возможность удаленного подключения с ПК для просмотра видео в режиме реального времени, механизм защиты жёсткого диска от вибраций при эксплуатации на транспорте, возможна запись как на жёсткий диск, так и на карту памяти. Имеет размер стандартной автомагнитолы.

Плата расширения. Плата расширения (рис. 1.7) – это дополнительная аппаратная платформа, которая соединяется с основной платой абонентского терминала и увеличивает ее возможности за счет установки набора дополнительных комплектующих. Выбор дополнительных элементов зависит от решаемых устройством задач.

В перспективах развития платы расширения – оборудование терминала контроллером CAN-log (рис. 1.8) для прямого подключения к бортовому компьютеру, оснащение модулем LoRa для подключения к сети интернета вещей и многие другие доработки.

Устройство бесперебойного питания. Устройство бесперебойного питания (рис. 1.9) предназначено для обеспечения автономной работы системы мониторинга транспорта, а также защиты подключенных устройств от скачков напряжения и коротких замыканий.

Прибор представляет собой закрытую пластиковую конструкцию на металлической шасси, посредством которой он крепится к стенке транспортного средства или другого объекта мониторинга.

Рис. 1.8. Контроллер CAN-log

Рис. 1.9. Устройство бесперебойного питания

Внутри конструкции размещается усиленный аккумулятор, абонентский терминал подходящего размера (например УМКа300)

и контрольная панель. Устройство может быть одновременно подключено к трем и более датчикам уровня топлива. Такая конструкция обеспечивает надежную работу конечного устройства и топливных датчиков даже в условиях перебоев с электропитанием и агрессивных условиях эксплуатации.

Технические характеристики

Напряжение питающей бортовой сети, В……..……+8… +40
Постоянное выходное напряжение, В
при работе от бортовой сети…….13±0,7
в автономном режиме (в процессе разряда АКБ)……9-13
Напряжение заряда АКБ, В…….13,5-14,2
Потребляемый ток в холостом режиме
(при напряжении 13±0,7В), не более, мА……...15
Ток нагрузки, А
номинальный……...2
максимальный
(при напряжении бортовой сети 12-40В)…….…….3
Ток заряда АКБ, не более, А…….…...1
Степень защиты……...IP65
Рабочий температурный диапазон……от минус 10 до плюс 50^0С
Температурный диапазон хранения...……...от минус 20 до плюс 50^0С
Габаритные размеры (с учетом крепления), мм……305×220×100
Масса не более, кг……4

Устройство способно поддерживать длительный период автономной работы подключенных устройств (до 72 ч). Время зарядки аккумулятора – 7 ч, устройство оснащено предохранителями, имеет защиту от саботажа и скачков напряжения.

RFID-считыватель. Считыватель радиочастотных меток УМКа200 (рис. 1.10) используется для идентификации стационарных и подвижных объектов мониторинга, контроля персонала и оборудования, учета рабочего времени и списания материалов при помощи вспомогательных устройств. Считыватель фиксирует сигнал с RFID карт и брелоков на дистанции до 5 см, а также сигналы радиочастотных меток – до 100 м. УМКа200 способен производить удаленную настройку RFID метки УМКа100 на частотах 868МГц.

Такая настройка позволяет установить: событие выхода на связь, периодичность выхода на связь и период выхода на связь после произошедшего события. При помощи интерфейса RS485

можно определить идентификатор метки Mifare и Em Marin, идентификатор, температуру, признак движения или поднесение магнита и уровень напряжения батареи для метки УМКа100. Устройство может применяться как в комплексе с абонентским терминалом, так и самостоятельно.

Рис. 1.10. RFID-считыватель

Рис. 1.11. Радиометка

Технические характеристики

Частота радиоканала
для дальней идентификации……...868МГц (LoRa FSK)
Частоты радиоканала для ближней идентификации…..125 кГц, 13,56 МГц
Совместимость с картами…….Mifare, Em Marin
Интерфейс…….....RS485, 1-Wire
Дискретные входы…….....1
Температурный диапазон..……от минус 40 до плюс 85^0C
Напряжение питания, В……...+8…+40
Материал корпуса…….Пластик
Степень защиты корпуса……...IP 31
Габаритные размеры, мм…….76×117×28
Масса не более, г……...250

Радиометка УМКа100 применяется для идентификации стационарных или движущихся объектов мониторинга. Устройство используется в комплекте с RFID-считывателем УМКа200. RFID метка способна передавать сигнал по радиоканалу на частотах 868 МГц на дистанцию до 100 м, обрабатывать состояние датчика магнитного поля. Радиометка поддерживает возможность изменения мощности приемопередатчика, периода передачи данных, номера идентификации и отметки подсети. Метка используется не менее 3-х лет и не предполагает возможность замены батареи или внутренних компонентов.

Технические характеристики

Частота радиоканала……868 МГц
Дальность действия (по прямой видимости), м……100
Мощность радиопередатчика…….не более 25 мВт
Встроенный акселерометр…….....есть
Срок автономной работы……3 года
Температурный диапазон……..от минус 40 до плюс 60^0С
Материал корпуса……..пластик
Степень защиты корпуса……...IP 65
Габаритные размеры (с учетом крепления), мм……..60×92×34
Масса не более, г……...100

Контрольные вопросы

1. Что такое система спутникового мониторинга «ГЛОНАССсофт»?
2. Что представляет собой платформа «ГЛОНАССсофт»?
3. Какие отраслевые решения «ГЛОНАССсофт» Вам известны?
4. Опишите основное оборудование систем мониторинга объектов.
5. Перечислите дополнительное оборудование систем мониторинга объектов.

2. Работа с программной платформой «ГЛОНАССсофт»

2.1. Начало работы

Чтобы начать работу с программной платформой, необходимо иметь подключение к сети Интернет, и на компьютере или ноутбуке зайти в браузер и ввести адрес *hosting.glonasssoft.ru*. В открывшемся окне (рис. 2.1) будут доступны кнопки *«Зарегистрироваться», «Войти»* и *«Демо»*. Для входа в web-приложение необходимо знать логин и пароль учетной записи пользователя. В режиме *«Демо»* будет доступен демонстрационный режим.

Рис. 2.1. Вход в web-приложение

После входа в приложение под логином и паролем либо в режиме *«Демо»* открывается рабочее окно (рис. 2.2), в верхней части которого имеются вкладки:

- *«Мониторинг»*;
- *«Геообъекты»*;
- *«Задания»*;
- *«Отчеты»*.

Пользовательский интерфейс приложения представляет собой набор вкладок с различными инструментами мониторинга и создания отчетности. В левой части окна будет представлен список внесенной техники, в правой части – карта.

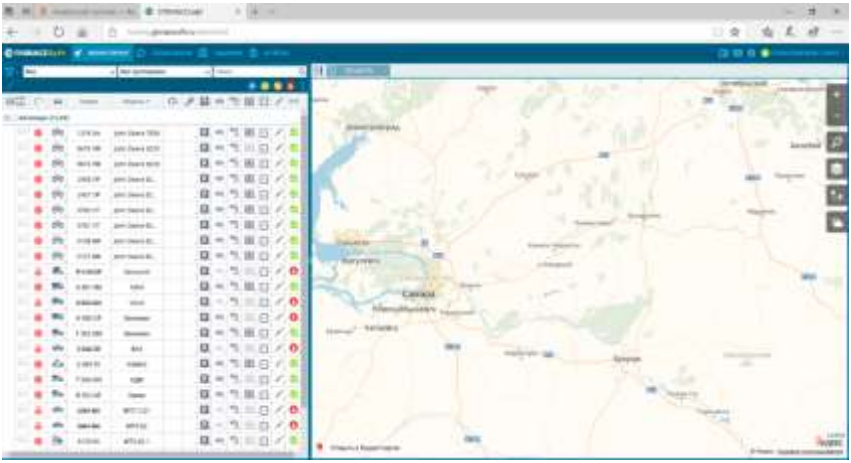


Рис. 2.2

Нажав иконку «*Слои*» (рис. 2.3), можно выбрать необходимый картографический сервис из представленных на платформе: OpenStreetMap, Yandex Maps, Google Maps или др. (рис. 2.4).

Для зарегистрированного пользователя каждые 30 с сохраняется положение и масштаб карты. При выходе из приложения сохраняется последняя конфигурация карты. При последующем входе в приложение карта загружается с последней сохраненной конфигурации.

Для начала работы можно, открыв панель управления (рис. 2.5), просмотреть информацию о клиенте, пользователях, объектах, ретрансляторах, просмотреть или заполнить справочники, если это не было сделано ранее администратором, а также импортировать или экспортировать данные справочников.

Кнопки на панели управления, доступные пользователю:

- клиенты;
- пользователи;
- объекты;
- справочники;
- ретранслятор;
- импорт/экспорт.

Рис. 2.3

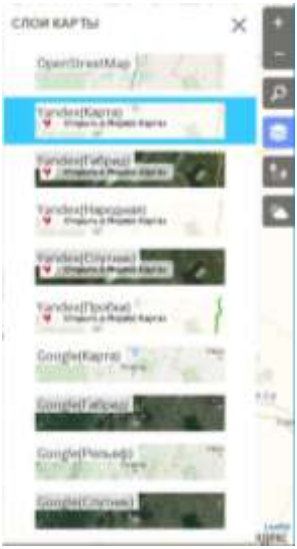


Рис. 2.4

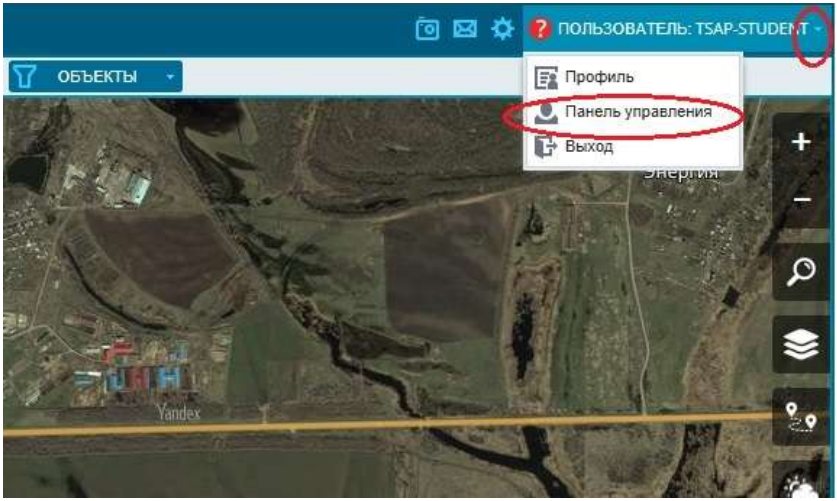


Рис. 2.5

Для заполнения или корректирования данных по имеющейся технике, необходимо выбрать вкладку *«Справочники»* (рис. 2.6) и выбрать *«Модели транспорта»* (рис. 2.7).

Рис. 2.6

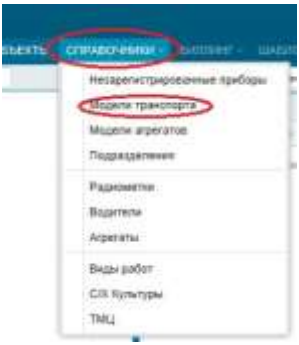


Рис. 2.7

Для внесения новой модели объекта в данный список необходимо нажать кнопку + (рис. 2.8), внести необходимые данные (рис. 2.9): название, рабочую ширину, тип (не выбрано, сельскохозяйственная техника, грузовая техника, легковая техника), задать диапазон технологической скорости, и, при необходимости, отметить галочкой, содержит встроенный агрегат или нет.

Рис. 2.8

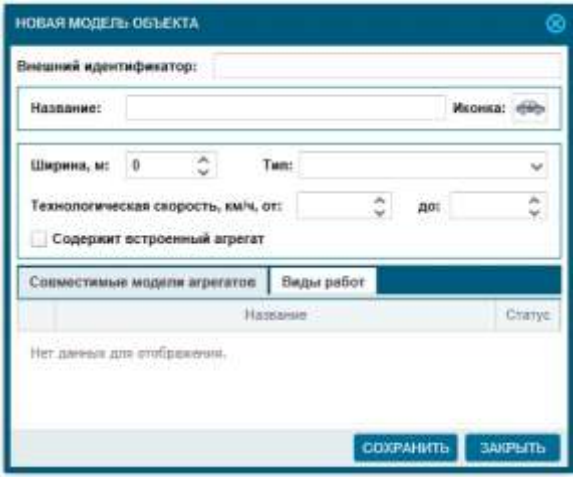


Рис. 2.9

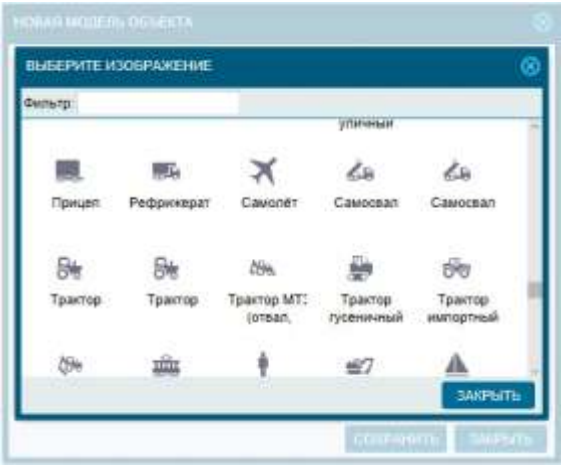


Рис. 2.10

В нижней части окна можно указать совместимые модели агрегатов и виды работ, при условии, что заполнены соответствующие справочники. Также необходимо присвоить изображение иконки, выбрав его из предложенного перечня (рис. 2.10).

Контрольные вопросы

1. Как начать работу с web-приложением системы «ГЛОНАССсофт»?
2. Какие вкладки имеются в рабочем окне после входа в web-приложение?
3. Какие кнопки доступны пользователю на панели управления?
4. Как заполнить или скорректировать данные по имеющейся технике?
5. Как внести новую модель объекта в соответствующий список?

2.2. Работа с вкладкой «Мониторинг»

Пользовательский интерфейс данного меню представляет собой набор вкладок с различными инструментами мониторинга и создания отчетности.

Меню вкладки *«Мониторинг»* позволяет контролировать объем выполнения работ, содержит весь основной набор функций мониторинга объектов (список объектов, геозон, карты, отчеты, графики и т.д.). Позволяет вести учет техники и расхода топлива, осуществлять мониторинг в режиме реального времени и за

период с любого устройства с выходом в интернет, формировать основные типовые отчеты, создавать отчеты под потребности пользователя, выгружать данные в бухгалтерскую программу, хранить данные неограниченный срок.

В нем возможно отслеживание положения объектов, получение данных о скорости передвижения, остановках (место и время простоя), расходе и уровне топлива (рис. 2.11).

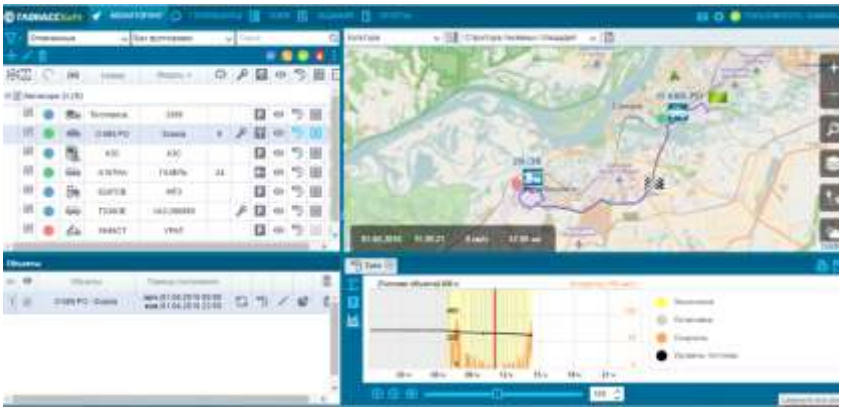


Рис. 2.11

Рабочее пространство вкладки *«Мониторинг»* включает в себя:

- панель инструментов сортировки;
- список подконтрольных объектов.

Панель сортировки. Панель сортировки (рис. 2.12) предназначена для сортировки объектов по их основным атрибутам.

Панель сортировки содержит три элемента управления:

- ниспадающее меню *«Группировка»*;
- ниспадающее меню отбора объектов по их статусу;
- окно поиска по полю *«Номер»*.

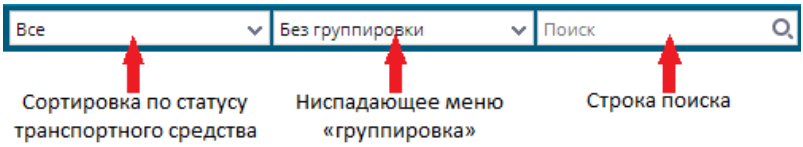


Рис. 2.12

Ниспадающее меню *«Группировка»* содержит следующие пункты:

- без группировки – отключает группировку по атрибутам объектов;
- модель – включает группировку по модели объекта, при этом создаются списки в алфавитном порядке, с возрастанием числовых значений (количество списков соответствует количеству моделей);
- подразделение – включает группировку по подразделению объекта, при этом создаются списки в алфавитном порядке, с возрастанием числовых значений (количество списков соответствует количеству подразделений);
- подразделение-модель – включает группировку по подразделению и модели объекта. Создаются списки, головным списком является подразделение, внутри подразделения идет сортировка по моделям в алфавитном порядке, с возрастанием числовых значений;
- статус – включает группировку по статусу объекта: *«На связи»*, *«В движении»*, *«Отключена»* (рис. 2.13);
- адрес (регион-район) – включает группировку по тому адресу объекта, где он находится в данный момент времени;
- геозона – включает группировку по геозоне, в которой в данный момент времени находится объект.

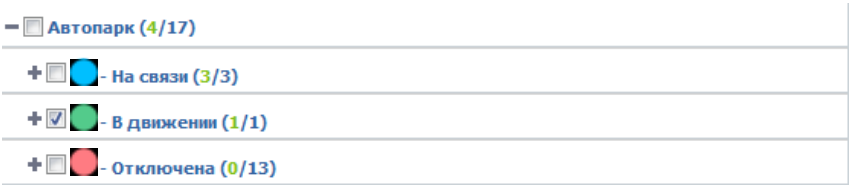


Рис. 2.13

Сортировку по статусу объекта можно совершить по следующим типам:

- нет данных – сортировка по объектам, имеющим статус «*Нет данных*»;
- в движении – сортировка по объектам, находящимся в данный момент времени в движении;
- на связи – сортировка по объектам, система мониторинга которых находится на связи с сервером приложения. Так же в этот тип

сортировки включаются объекты со статусом «*В движении*»;

- отключена – включает сортировку по объектам, система мониторинга которых отключена;
- отмеченные – включает сортировку по отмеченным объектам в дереве.

В строку поиска вводится государственный регистрационный номер объекта или фамилия водителя объекта.

Сортировку можно проводить по всем трем элементам сортировки одновременно.

Список объектов. Список объектов предназначен для удобного и оперативного мониторинга объектов.

Информация об объектах представлена в виде списка, который можно свернуть, используя значок или развернуть.

Заголовок списка имеет инструменты для сортировки и отображения объектов (рис. 2.14):

- кнопка «Свернуть/Развернуть список» ;
- кнопка сортировки по статусу ;
- кнопка сортировки объектов по модели с возможностью сортировки в прямом и обратном алфавитном порядке;
- кнопка сортировки объектов по номеру с возможностью сортировки по возрастанию и убыванию;
- кнопка сортировки объектов по модели с возможностью сортировки.

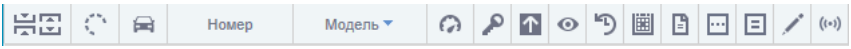


Рис. 2.14

Список имеет индикаторы отображения сведений об объекте:

- индикатор скорости ;
- индикатор зажигания ;
- индикатор курса ;
- индикатор слежения .

В списке также есть кнопки для создания истории активности выбранного объекта:

- построить историю ;
- построить историю за сутки ;
- создать путевой лист ;

- дополнительное меню ⋯;
- создать задание ☰.

Также есть кнопки редактировать ✎ и статус ((•)).

Работа с объектом в режиме мониторинга ведется в строках списка объектов. Каждая строка представляет собой конкретный объект, имеющий свои собственные атрибуты (рис. 2.15).

Рис. 2.15

Галочка видимости объекта на карте включает режим отображения выбранного объекта на карте. Если галочка включена – объект отображается на карте.

Индикатор статуса отображает статус системы мониторинга объекта:

- зеленый цвет – статус объекта «*В движении*», терминал включен, объект находится в движении;
- синий цвет – статус объекта «*На связи*», питание есть, терминал на связи с сервером, но объект не движется;
- красный цвет – статус объекта «*Отключен*», объект отключен, т.е. на терминал не поступает питание;
- серый цвет – статус объекта «*Нет данных*».

Модель объекта показывает графическое схематичное изображение объекта, обозначающее его тип (в данном случае, трактор).

Номер объекта показывает государственный регистрационный номер объекта.

Индикатор скорости отображает скорость объекта (км/ч) на момент последнего приема данных от объекта.

Индикатор зажигания показывает, включено ли зажигание объекта. Если зажигание не включено, иконка отсутствует.

Курс показывает направление, в котором движется объект, при этом, если объект не движется, то показывается символ , если объект в движении, то отображается символ в виде стрелки, показывающей направление движения объекта.

Кнопка слежения включает режим мониторинга объекта на карте.

Кнопки построения истории активности позволяют построить отчеты по активности объекта за период.

Статус системы мониторинга отображается в списке , при этом активное состояние обозначается символом .

При наведении курсора на символ обозначения техники , ее номер или модель появляется всплывающая подсказка с информацией о данном объекте (рис. 2.16).

Рис. 2.16

Всплывающая подсказка содержит в себе следующие данные:

- актуальность полученных данных (например, 189 сут назад (22.05.2017 13:17)
- государственный регистрационный номер и иконку объекта;
- местоположение объекта на карте;
- скорость объекта (км/ч);
- модель объекта;
- принадлежность подразделению.

Такая же всплывающая подсказка появится, если включить для объекта галочку видимости на карте. На карте появится иконка объекта, при щелчке по иконке левой кнопкой мыши появится всплывающая подсказка.

При наведении курсора на символ также можно увидеть дополнительную информацию в всплывающем окне (рис. 2.17).

Рис. 2.17

При активации значка *«Следить»* (рис. 2.18) напротив соответствующего объекта на карте в месте текущего нахождения данного объекта появляется его символ и номер. При движении объекта можно будет наблюдать траекторию и направление его движения на карте.

Режим слежения может быть включен одновременно для нескольких объектов сразу. При этом обновление карты будет происходить с учетом необходимости отображения всех включенных объектов (рис. 2.19).

Рис. 2.18

Рис. 2.19

История активности объектов. Во вкладке *«Мониторинг»* также можно построить историю активности объектов, кликнув на значок (рис. 2.20). После этого появится всплывающее окно (рис. 2.21), в котором можно выбрать интересующую дату или период, за который будет построена история.

На появившемся календаре будут отмечены дни, в которые у объекта была активность. Активность объекта в данный день можно определить по интенсивности окрашивания. Чем насыщеннее цвет, тем большую активность проявлял объект в этот период.

Необходимо выбрать отчетный период с помощью кнопок выбора отчетного периода (кнопки *«Сегодня», «Вчера», «Сутки», «Неделя», «Месяц»*). При нажатии любой кнопки выбранный отчетный период отразится в календаре.

После выбора интересующей даты или периода нажать кнопку *«Построить»*. Для любого выбранного отчетного периода (будь то дата в календаре или набранный период) в строке пробега указывается длина пробега (км) и выбранный отчетный период.

Выбрать отчетный период можно также с помощью двух пар окон выбора даты и времени, расположенных сразу под кнопками выбора отчетного периода. В первой паре окон выбирается первая точка отчетного периода, во второй – последняя точка. Время в этих датах не должно быть указано позднее, чем текущее время. В противном случае появится сообщение об ошибке.

Рис. 2.20

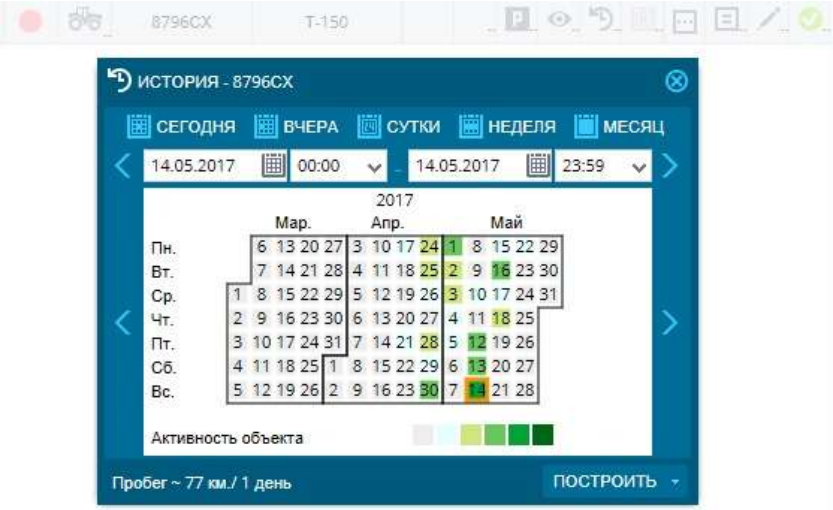


Рис. 2.21

Отчетный период можно выбрать и с помощью календаря, щелкнув левой кнопкой мыши на любом изображении даты. Можно выбрать только одну дату.

Построенная история активности отображается в двух окнах в нижней части рабочего пространства: в окне маршрутов и таблицы истории активности.

Окно маршрутов. В окне маршрутов (рис. 2.22) может быть построено любое количество историй активности для любого числа объектов. В том числе, для одного объекта может быть построено любое количество историй активности с различными историями активности.

№			Объекты	Период построения					
1	☑		2458 УР - John Deere 8295R	нач.:16.11.2017 00:00 кон.:16.11.2017 23:59					
2	☑		А 801 КМ - MAN	нач.:18.11.2017 00:00 кон.:18.11.2017 23:59					

Рис. 2.22

История активности объекта на карте отображается в виде *трека*. Для того чтобы включить отображение трека на карте, необходимо включить галочку видимости трека на карте.

Таблица истории активности. Отчет содержит трек перемещений объекта, а в окне отчета – сводную информацию (рис. 2.23, 2.24), информацию о стоянках/остановках при клике на соответствующий значок (рис. 2.25), информацию о заправках/сливах топлива (рис. 2.26).

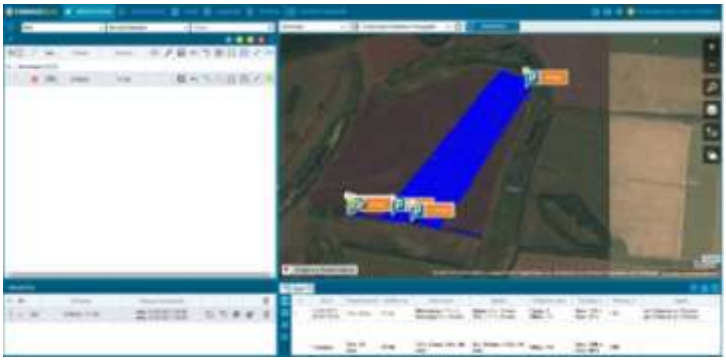


Рис. 2.23

Рис. 2.24

Рис. 2.25

Рис. 2.26

Также есть возможность построить график, отражающий динамику скорости движения, уровня и расхода топлива за весь период работы (рис. 2.27), периоды включенного зажигания и остановок. Цвета графиков представлены в легенде.

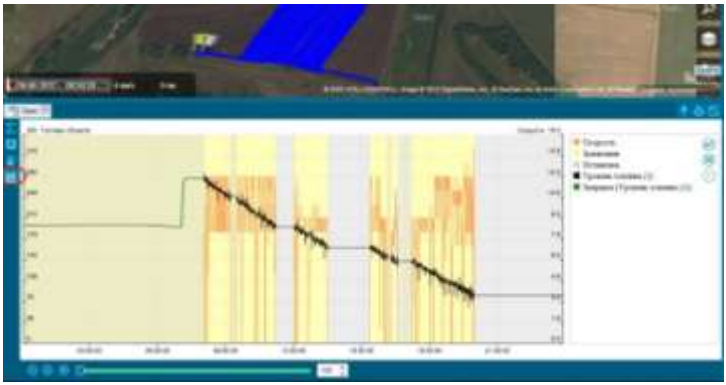


Рис. 2.27

При клике на соответствующий значок (рис. 2.28) может быть построен сводный отчет в печатной форме, содержащий всю указанную выше информацию.

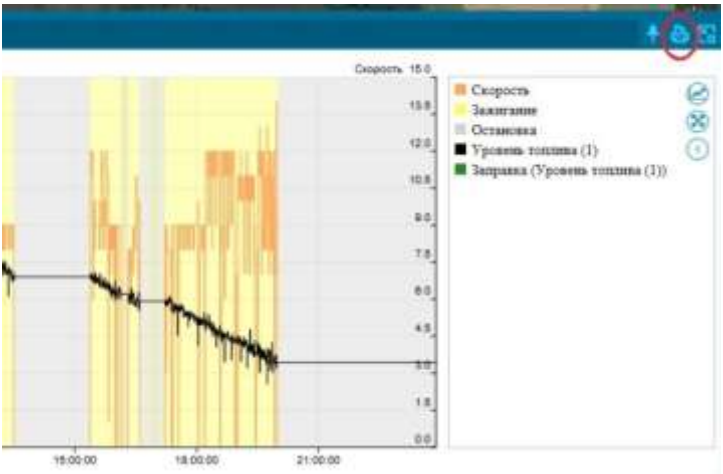


Рис. 2.28

Пример такого отчета приведен на рисунке 2.29.

Рис. 2.29. (окончание см. на с. 37)

Сводки информации

#	Дата	Продолжительность	Пробег, км	Моточасы	Адрес	Скорость, км/ч	Топливо, л	Расход, л	Адрес
1	30.04.2016 10:21 - 10:37	0 ч. 16 мин.	34.08	Моточасы: 0 ч.мин Моточасы: 0 ч.мин	Двиг.: 7 ч. 3 мин. Вых.: 1 ч. 17 мин.	Сред.: 13 Макс.: 57	Нач.: 153 л Кон.: 83 л	83	нп. Самарская область, Кошкинский район, деревня Левый Сантаевк, Луговая улица дер. Самарская область, Кошкинский район, деревня Левый Сантаевк, Луговая улица
	1 запись	23 ч. 55 мин.	84.08	0 мин / 0 сек	7 ч. 5 мин / 16 ч. 45 мин.	Макс.: 91	Нач.: 153 л Кон.: 83 л	83	

Остановки

#	Дата	Продолжительность	Пробег, км	Адрес
1	30.04.2016 10:21 - 10:31	10 ч. 0 мин.	0	Самарская область, Кошкинский район, деревня Левый Сантаевк, Луговая улица
2	30.04.2016 11:11 - 11:25	14 мин.	22.00	Самарская область, Кошкинский район
3	30.04.2016 14:02 - 14:15	13 мин.	40.00	Самарская область, Кошкинский район
4	30.04.2016 17:06 - 17:13	7 мин.	72.61	Самарская область, Кошкинский район
5	30.04.2016 17:56 - 18:03	7 мин.	84.00	Самарская область, Кошкинский район, деревня Левый Сантаевк, Луговая улица
6	30.04.2016 20:17 - 23:01	5 ч. 15 мин.	84.00	Самарская область, Кошкинский район, деревня Левый Сантаевк, Луговая улица
	6 записей	10 ч. 46 мин.		

Водители

#	Дата	Водитель	Продолжительность	Пробег, км	Адрес
1	30.04.2016 10:21 - 23:01	Багаутдинов Ф.	23 ч. 39 мин.	84.08	нп. Самарская область, Кошкинский район, деревня Левый Сантаевк, Луговая улица дер. Самарская область, Кошкинский район, деревня Левый Сантаевк, Луговая улица
	1 запись		23 ч. 55 мин.	84.08	

Топливо

#	Дата	Продолжительность	События	Топливо, л	Уровень топлива, л	Адрес
1	30.04.2016 10:31 - 10:36	10 мин.	Заправка (Уровень топлива)	57	Нач.: 57 Кон.: 154	Самарская область, Кошкинский район, деревня Левый Сантаевк, Луговая улица
	1 запись	10 мин.	Заправлено: 97 / Слито: 0		Нач.: 57 Кон.: 154	

Геообъекты

#	Геообъект	Год	Начало	Конец	Продолжительность	Моточасы	Пробег/Площадь	Скорость, км/ч	Топливо, л	Расход
1	40(2) пом 4\123 пом 07/2004	2016	30.04.2016 10:26	30.04.2016 10:30	4 мин.	0 сек.	Пробег: 0.63 км Площадь: 0.00 га	Сред.: 8 Макс.: 54	Нач.: 152 Кон.: 140	Расход: 0 л Расход на га: 0 л/га
2	40(2) пом 4\123 пом 07/2004	2016	30.04.2016 10:31	30.04.2016 10:33	1 мин.	0 сек.	Пробег: 0.29 км Площадь: 0.16 га	Сред.: 12 Макс.: 34	Нач.: 140 Кон.: 140	Расход: 0 л Расход на га: 0 л/га
3	40(2) пом 4\123 пом 07/2004	2016	30.04.2016 10:34	30.04.2016 15:21	4 ч. 46 мин.	0 сек.	Пробег: 40.32 км Площадь: 27.56 га	Сред.: 10 Макс.: 16	Нач.: 147 Кон.: 97	Расход: 0 л Расход на га: 0 л/га
4	30(2) пом 4\123 пом 07/2005	2016	30.04.2016 15:27	30.04.2016 15:32	5 мин.	0 сек.	Пробег: 1.12 км Площадь: 1.00 га	Сред.: 13 Макс.: 74	Нач.: 94 Кон.: 94	Расход: 0 л Расход на га: 0 л/га
5	30(2) пом 4\123 пом 07/2005	2016	30.04.2016 15:34	30.04.2016 17:40	2 ч. 7 мин.	0 сек.	Пробег: 22.97 км Площадь: 23.70 га	Сред.: 12 Макс.: 10	Нач.: 94 Кон.: 90	Расход: 0 л Расход на га: 0 л/га
6	40(2) пом 4\123 пом 07/2004	2016	30.04.2016 17:43	30.04.2016 17:44	1 мин.	0 сек.	Пробег: 0.31 км Площадь: 0.40 га	Сред.: 13 Макс.: 16	Нач.: 92 Кон.: 94	Расход: 0 л Расход на га: 0 л/га
7	10(2) пом 4\123 пом 07/2005	2016	30.04.2016 17:54	30.04.2016 17:55	1 мин.	0 сек.	Пробег: 0.47 км Площадь: 0.66 га	Сред.: 19 Макс.: 65	Нач.: 90 Кон.: 84	Расход: 0 л Расход на га: 0 л/га
8	11(2) пом 4\123 пом 07/2005	2016	30.04.2016 18:13	30.04.2016 18:19	5 мин.	0 сек.	Пробег: 0.37 км Площадь: 0.50 га	Сред.: 10 Макс.: 30	Нач.: 82 Кон.: 78	Расход: 0 л Расход на га: 0 л/га
9	11(2) пом 4\123 пом 07/2005	2016	30.04.2016 19:19	30.04.2016 19:27	8 мин.	0 сек.	Пробег: 0.61 км Площадь: 0.91 га	Сред.: 9 Макс.: 53	Нач.: 73 Кон.: 69	Расход: 0 л Расход на га: 0 л/га
	9 записей		30.04.2016 10:26	30.04.2016 19:27			Пробег: 77.80 км Площадь: 65.84 га	Макс.: 65	Нач.: 152 Кон.: 69	Расход: 75 л

График объекта

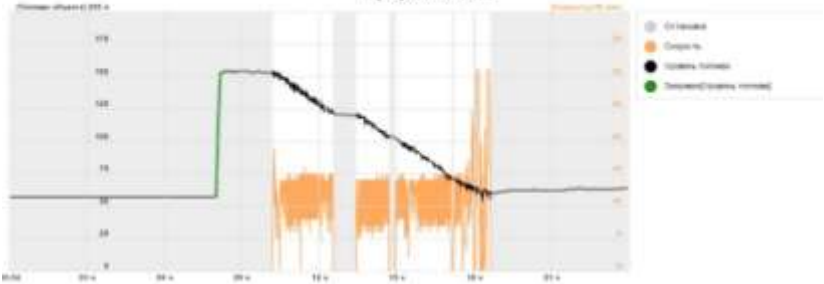


Рис. 2.29. Окончание (начало см. на с. 36)

Контрольные вопросы

1. Какие возможности предоставляет пользователю функция *«Мониторинг»*?
2. Каким образом в меню *«Мониторинг»* представлена информация об объектах?
3. Каким образом можно узнать о текущем местонахождении объекта?
4. Как построить историю активности объектов?
5. Какие данные представлены в таблице истории активности объекта?

2.3. Работа с дополнительными вкладками «Путевые листы» и «Журнал путевых листов»

При работе во вкладке *«Мониторинг»* доступны дополнительные вкладки:

- «*Путевые листы*»;
- «*Журнал путевых листов*».

Путевые листы применяются для отображения данных о пробеге, показаниях остатков и расхода топлива на маршруте следования разных типов транспорта. В рамках данной функции происходит учет полезной нагрузки техники и перегонов.

Подсистема путевых листов требует подключения роли пользователя *«Учетчик Путевых листов»* (рис. 2.30).

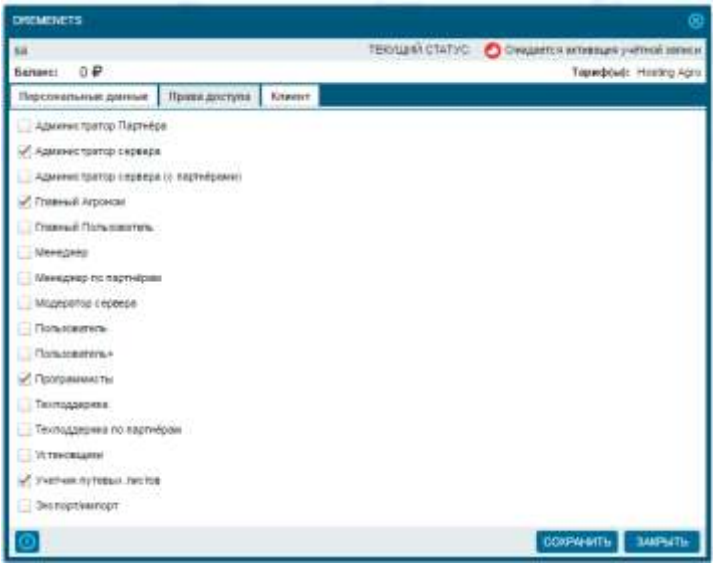


Рис. 2.30

После этого во вкладке «Мониторинг» станет доступна вкладка *«Путевые листы»* (рис. 2.31).

Рис. 2.31

Во вкладке *«Журнал путевых листов»* загружаются открытые/закрытые путевые листы за необходимый промежуток времени с возможностью просмотра и экспорта в форматы Excel или PDF (рис. 2.32).

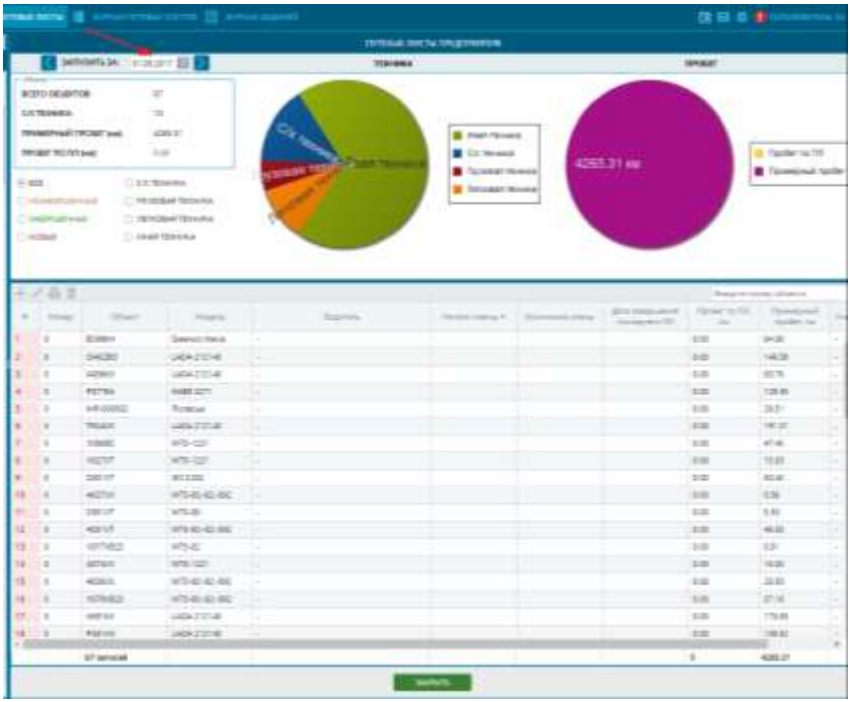


Рис. 2.32

Путевые листы сельскохозяйственной техники также используются для учета с.-х. работ в разрезе единиц техники.

В понятие *«Учет»* вкладывается обработанная площадь, технологические операции и поля, на которых производились работы, расход топлива, пробег и перегоны. Эти параметры можно увидеть в карточке редактирования путевого листа.

Данные о работах берутся из функции *«Учет факта»*. Остальные промежутки времени, а также пробеги списываются в Перегоны (рис. 2.33).

Рис. 2.33

Расчет зарплаты. В рамках ведения путевого листа рассчитывается объем выполненных работ и соответствующая ему оплата труда.

Расчет базируется на тарифах за выполнение технологических операций и учтенных данных о фактически обработанной площади в рамках данной технологической операции. Если эти данные не заполнены, оплата не может быть рассчитана.

Контрольные вопросы

1. Какие данные отображают путевые листы?
2. Какая информация доступна во вкладке *«Журнал путевых листов»*?
3. Возможно ли экспортировать информацию, содержащуюся в путевых листах?
4. Какие параметры вложены в понятие *«Учет»*?
5. Возможен ли расчет зарплаты в рамках ведения путевого листа?

2.4. Работа с вкладкой «Геообъекты»

Геообъект – это виртуальный произвольно ограниченный участок на географической карте.

Создание и редактирование геообъектов. Первым шагом является создание объекта. Для этого в меню *«Геообъекты»* с помощью кнопки *«Добавить»* (рис. 2.34) создается объект посредством обрисовки его на карте (рис. 2.35). Необходимо кликнуть на карте, чтобы добавить точки для обрисовки данной зоны, чтобы завершить рисование, нужно 2 раза кликнуть на последнюю точку.

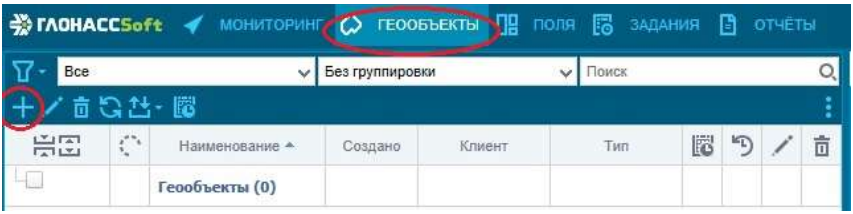


Рис. 2.34

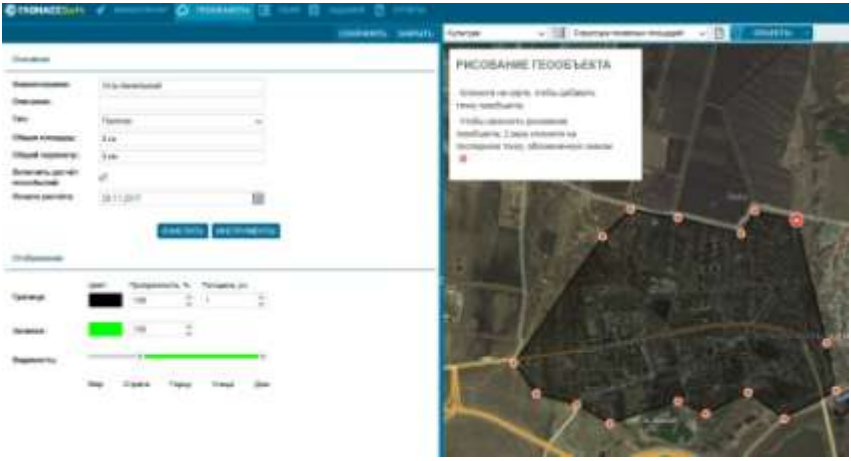


Рис. 2.35

Раздел *«Основное»* редактора геообъектов содержит активное поле ввода названия геообъекта и справочные (неактивные) поля для отображения площади и периметра геообъекта. При этом программа автоматически рассчитает периметр и площадь нарисованного объекта, данные в полях *«Площадь»* и *«Периметр»* появятся после того, как будет нарисована геозона.

Раздел *«Отображение»* содержит настройки отображения геообъекта на карте. Это такие настройки, как цвет, прозрачность и толщина линии контура геообъекта, цвет и прозрачность заливки геообъекта, бегунок с настройками видимости на карте геообъекта в зависимости от масштаба карты.

При создании геозоны в верхней области карты появляются инструменты для построения контура геозоны:

- линия – позволяет строить контур геозоны с помощью линий;
- полигон – позволяет строить контур геозоны с помощью полигонов;
- маркер – ставит маркер, определяющий местоположение геозоны при любом типе видимости геозоны и независимо от масштаба карты.

Для окончательного создания геообъекта необходимо нажать кнопку *«Сохранить»*.

Также необходимо включить расчет геособытий, отметив галочкой (рис. 2.36) и установив начало отсчета.

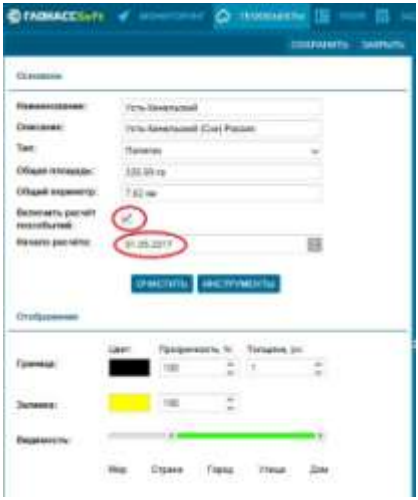


Рис. 2.36

Таким же образом создаются и другие геообъекты.

Для удаления геообъектов необходимо выделить удаляемые геообъекты и нажать кнопку . Для редактирования геообъекта используется кнопка .

Для создания геообъекта также можно применить функцию *«Мастер загрузки геообъектов»*, доступную по нажатию

кнопки . В этом случае появится мастер загрузки файлов геообъектов, позволяющий загрузить файл геозоны в форматах *KML*, *KMZ*, *CSV*, *ShapeFile* и *MapInfo*, т.е. файлы с векторными геоданными.

Отчет посещения геообъекта. Можно построить отчет по геообъекту за произвольный период (рис. 2.37), увидеть историю его посещения: какая техника въезжала на этот объект, когда и т.д.

Для построения отчета необходимо нажать кнопку *«Построить отчет»* за произвольный период.

Рис. 2.37

Для построения отчета необходимо выбрать отчетный период и нажать кнопку *«Построить»*.

В рабочем пространстве появляется два новых окна: окно отчетов и окно данных.

В окне данных представлен отчет посещения выбранной геозоны объектом. В отчете фигурируют:

- номер объекта;
- название геообъекта;
- время начала и конца посещения геообъекта;
- продолжительность посещения геообъекта.

Можно построить отчет за произвольный период, кликнув на определенный геообъект (рис. 2.38). При этом также будут доступны кнопки *«Редактировать»*, *«Найти в дереве геообъектов»*, *«Фотографии»*, *«Убрать с карты»*.

Построив отчет по определенной машине (см. работа с меню *«Мониторинг»*), в отчете, помимо трека прохождения транспорта по данному геообъекту, можно увидеть следующие данные:

- название объекта;
- время въезда на геообъект;
- время выезда с геообъекта;
- продолжительность пребывания;
- моточасы (время простоя);
- пробег;
- скорость передвижения;
- уровень топлива;
- время, факт включения и продолжительность работы дополнительного механизма;
- сумму по каждому вышеописанному пункту.

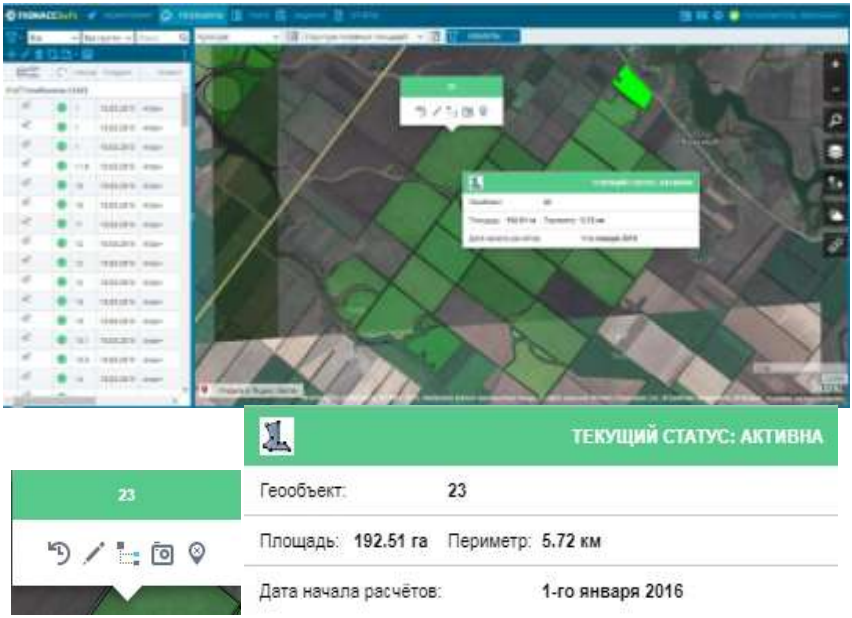


Рис. 2.38

Также можно построить отчет по определенному геообъекту, увидеть историю его посещения: какая техника въезжала на этот объект, когда и т.д.

Пример такого отчета приведен на рисунке 2.39.

#		Геообъект	Начало	Конец	Продолжительность	Моточасы	Пробег/Площадь	Скорость, км/ч	Расход
1		Кинель-Черкассы	00:14	06:25	6 ч. 10 мин.	6 ч. 10 мин.	Пробег: 4.58 км	Сред.: 1 Макс.: 68	Расход: 0 л Расход на 100км: 0 л/100км
2		СХП Золотой колос ФЗ4	06:55	09:20	2 ч. 25 мин.	2 ч. 25 мин.	Пробег: 3.89 км	Сред.: 4 Макс.: 76	Расход: 0 л Расход на 100км: 0 л/100км
3		Кинель-Черкассы	12:32	15:28	2 ч. 55 мин.	2 ч. 56 мин.	Пробег: 12.29 км	Сред.: 10 Макс.: 80	Расход: 0 л Расход на 100км: 0 л/100км
4		СХП Лозовское ФЗ5	15:37	18:35	2 ч. 57 мин.	2 ч. 57 мин.	Пробег: 53.00 км	Сред.: 27 Макс.: 102	Расход: 0 л Расход на 100км: 0 л/100км
5		Кинель-Черкассы	18:44	07:16	12 ч. 32 мин.	12 ч. 32 мин.	Пробег: 10.62 км	Сред.: 2 Макс.: 67	Расход: 0 л Расход на 100км: 0 л/100км
6		СХП Раздольное	09:24	13:23	4 ч. 00 мин.	4 ч. 00 мин.	Пробег: 12.52 км	Сред.: 6 Макс.: 100	Расход: 0 л Расход на 100км: 0 л/100км
7		Кинель-Черкассы	14:33	06:23	15 ч. 50 мин.	15 ч. 50 мин.	Пробег: 11.21 км	Сред.: 2 Макс.: 64	Расход: 0 л Расход на 100км: 0 л/100км
		13 записи	00:14	15:01			Пробег: 192.41 км	Макс.: 152	Расход: 0 л

#		Объект	Начало	Конец	Продолжительность	Моточасы	Пробег/Площадь	Скорость, км/ч	Расход на 100км / Расход на га
1		НАТАВМ - Шевроле нива	13:46	17:53	4 ч. 5 мин.	4 ч. 5 мин.	Пробег: 106.40 км	Сред.: 29 км/ч Макс.: 99 км/ч	Расход: 0 л Расход на 100км: 0 л/100км
2		НАТАВМ - Шевроле нива	13:07	17:01	3 ч. 53 мин.	3 ч. 53 мин.	Пробег: 22.97 км	Сред.: 10 км/ч Макс.: 91 км/ч	Расход: 0 л Расход на 100км: 0 л/100км
3		НАТАВМ - Шевроле нива	15:37	18:35	2 ч. 57 мин.	2 ч. 57 мин.	Пробег: 53.89 км	Сред.: 27 км/ч Макс.: 102 км/ч	Расход: 0 л Расход на 100км: 0 л/100км
4		НАТАВМ - Шевроле нива	09:29	10:53	2 ч. 24 мин.	2 ч. 24 мин.	Пробег: 23.83 км	Сред.: 20 км/ч Макс.: 86 км/ч	Расход: 0 л Расход на 100км: 0 л/100км

Рис. 2.39

Контрольные вопросы

1. Каким образом можно создать геообъект?
2. Как построить отчет по геообъекту?
3. Как построить отчет за произвольный период?
4. Какие инструменты можно использовать для построения контура геообъета?
5. Какую информацию содержит отчет по геообъекту?

3. Работа в системе мониторинга «АгроТехнология 2.0» на основе платформы «ГЛОНАССсофт»

3.1. Общие сведения о системе «АгроТехнология 2.0» и работе с web-приложением

Система мониторинга «АгроТехнология 2.0» на основе платформы «ГЛОНАССсофт» – это комплексная система помощи принятия решений, специально разработанная для крупных и средних сельскохозяйственных предприятий. «АгроТехнология 2.0» является облачной системой и доступна с любого компьютера, подключенного к сети Интернет. После входа в web-приложение в верхней части рабочего окна будут доступны вкладки *«Мониторинг», «Геообъекты», «Поля», «Задания», «Отчеты»* (рис. 3.1).

Рис. 3.1. Веб-интерфейс системы «АгроТехнология 2.0» на основе платформы «ГЛОНАССсофт»

С помощью данного решения можно:

- планировать, контролировать и анализировать ход работ на полях;
- ставить задачи и контролировать их исполнение на всех уровнях;
- анализировать урожайность и структуру посевных площадей;

• контролировать использование всей техники и агрегатов предприятия.

Задачи предприятия, которые решает «АгроТехнология 2.0». Важными составляющими управленческого процесса в сельском хозяйстве являются планирование сельскохозяйственных работ и своевременное выполнение технологических операций. «АгроТехнология 2.0» обладает всеми необходимыми функциями для эффективного планирования, анализа и учёта сельскохозяйственных операций, имеет широкие возможности импорта данных из внешних учётных систем.

Функция *«Годовое планирование»*. Годовое планирование технологических операций – это назначение какому-либо полю списка планируемых работ. Годовое планирование позволяет утвердить план работ по каждому полю, т.е. объем, начало/окончание работ, количество задействованной техники и прочих параметров отдельно для каждой культуры (рис. 3.2).

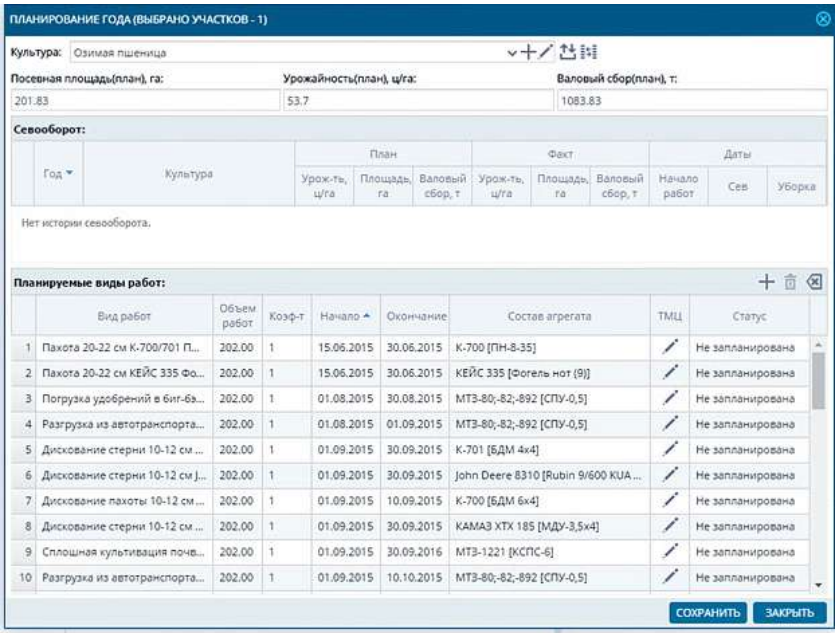


Рис. 3.2. Функция годового планирования

В функции *«Годовое планирование»* назначается планируемая культура и ее спецификация, технология культуры, планируемая

урожайность и валовый сбор; содержится информация о посевной площади, севообороте, планируемых видах работ: технологических операциях, коэффициентах, объеме работ, датах начала и окончания работы, составе агрегата, товарно-материальных ценностях (удобрениях, семенах, средствах защиты растений).

Функция *«Оперативное планирование».* Оперативное планирование – это назначение более конкретных (оперативных) планируемых работ. Оперативное планирование, как правило, используется для уточнения годового плана, когда известны более конкретные сроки выполнения работ.

Функция *«Оперативное планирование»* (рис. 3.3) вносит дополнения и коррективы в технологические операции на основе годового планирования, не меняя годовой план.

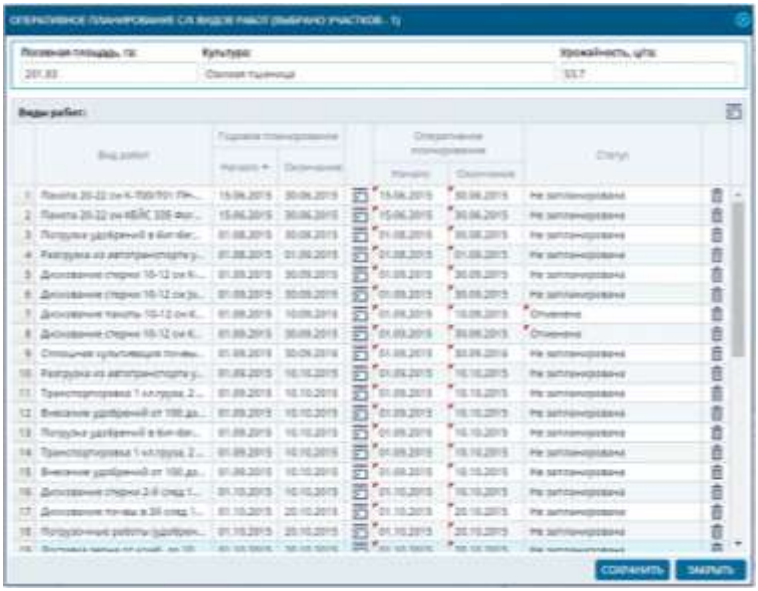


Рис. 3.3. Функция оперативного планирования

Функция *«Учёт факта выполненных работ на полях»* позволяет решать вопросы контроля фактических данных о площадях и времени их обработки, расходе топлива и т. п. (рис. 3.4).

Функция *«Агроанализ»* – это функция программы, обеспечивающая обработку, систематизацию и представление данных для последующего принятия управленческих решений (рис. 3.5).

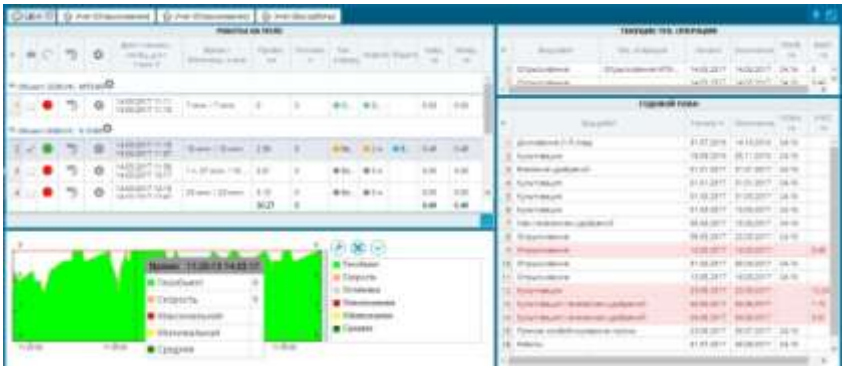


Рис. 3.4. Функция учета факта

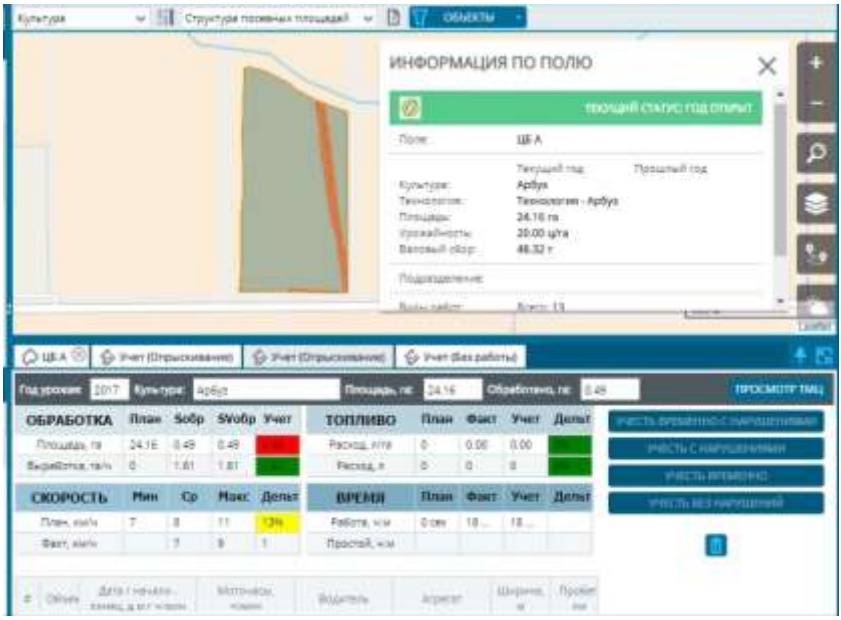


Рис. 3.5. Функция анализа данных

С помощью данной системы можно контролировать местоположение сельскохозяйственной техники в режиме реального времени с любого устройства, имеющего доступ к сети интернет.

Благодаря установке датчиков уровня топлива можно получить точную информацию о том, сколько топлива было потрачено,

какой был средний расход, объём, а также время и место сливов и заправок.

Установка датчика работы механизма позволит узнать, сколько фактически работает каждая единица техники.

Система «ГЛОНАССсофт» сохраняет все данные в течение года.

Система спутникового контроля «ГЛОНАССсофт» позволит контролировать и пресекать превышения водителями скорости. О превышении скорости можно узнать любым удобным способом: в отчете за любой период времени в течение года; уведомлением на электронную почту; онлайн в программе мониторинга.

Внедрение решения «АгроТехнология 2.0» дает возможность наладить процессы планирования, контроля и учёта на предприятии, выявлять неэффективные поля, прогнозировать и предотвращать потери, выполнять учет исполнителей по каждой операции и многолетний мониторинг эффективности каждого поля.

Система ГЛОНАСС/GPS-мониторинга устанавливается на все основные виды сельхозтехники: тракторы, комбайны, автомобили.

Основное оборудование. Оборудования для построения системы мониторинга сельхозтехники «ГЛОНАССсофт»:

- абонентский терминал УМКа300;
- датчик уровня топлива.

Дополнительное оборудование. Дополнительное оборудование – это набор различных внешних устройств, а также датчиков, подключаемых непосредственно к абонентскому терминалу для регистрации дополнительных параметров, что позволяет значительно расширить функциональные возможности системы.

Дополнительные устройства:

- идентификатор водителя;
- тревожная кнопка;
- комплект связи с водителем;
- датчик угла наклона.

Дополнительные датчики (рис. 3.6):

- датчик аварийной температуры масла;
- датчик наработки двигателя;
- датчик напряжения бортовой электрической сети;
- бортовое навигационно-коммуникационное оборудование;
- датчик давления масла;

- датчик аварийной температуры охлаждающей жидкости;
- датчик засоренности фильтра воздухоочистителя;
- датчик засоренности фильтра гидросистемы;
- датчик включения выгрузного шнека;
- датчик заполнения бункера;
- датчик оборотов молотильного барабана;
- датчик угла наклона.

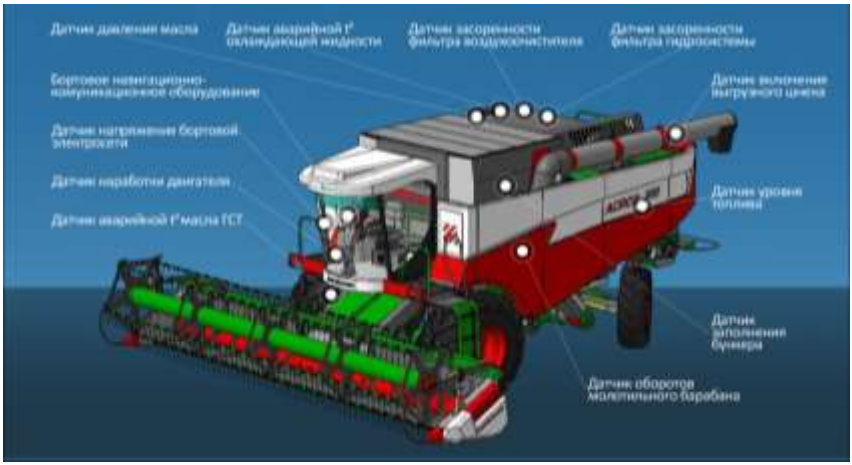


Рис. 3.6. Дополнительное оборудование систем мониторинга

Перспективы развития системы «АгроТехнология». В перспективах развития систем мониторинга – использование спутниковых данных, данных метеостанций и агрохимического обследования почв полей; составление и использование паспорта поля; прогнозирование урожайности; развитие методик оперативной коррекции состояния поля; мониторинг и контроль цепочек товарно-материальных ценностей, весовых, заправок; экономический мониторинг (расходы на поле, ранжирование полей) и др.

Контрольные вопросы

1. Что такое система мониторинга «АгроТехнология 2.0»?
2. Какие задачи решает система «АгроТехнология 2.0»?
3. В чем заключается функция *«Годовое планирование»*?
4. Что такое оперативное планирование?
5. В чем заключается функция *«Учет факта выполненных работ на полях»*?
6. Какое оборудование используется для построения системы?

3.2. Работа с вкладкой «Поля»

Вкладка *«Поля»* – это отличительная составляющая решения «АгроТехнология 2.0».

С помощью данного решения можно планировать, контролировать и анализировать ход работ на каждом поле; ставить задачи и контролировать их исполнение на всех уровнях; анализировать урожайность и структуру посевных площадей; контролировать использование всей техники и агрегатов предприятия.

Поле – участок земли, территория которого используется для сельскохозяйственных целей. В рамках данной системы поле – это частный случай геообъекта, поэтому оно имеет все его характеристики: наименование, тип контура, контур, площадь и т.д.

Сельскохозяйственные цели или назначение, то, что собственно отличает поле от геообъекта, определяется *годом урожая*, *севооборотом*, *годовым планированием*, *оперативным планированием*, а также возможностью *учета фактических работ* на полях.

Создание полей. Первым шагом является создание поля. Для создания поля необходимо нажать кнопку на панели инструментов. Появится редактор создания поля (рис. 3.7). Диалог состоит из двух частей: назначение общих атрибутов и настройки отображения поля на карте.

Раздел *«Общее»* редактора содержит поля:

- название – назначает полю название;
- год – назначает полю атрибут *«Год»*;
- внешний идентификатор;
- подразделение – назначает принадлежность подразделению;
- начало года урожая;
- конец года урожая.

Раздел *«Севооборот»* содержит описание севооборота на данном поле.

Раздел *«Отображение»* содержит настройки отображения поля на карте. Это такие настройки, как цвет, прозрачность и толщина линии контура поля, цвет и прозрачность заливки поля.

Для окончательного создания поля необходимо нажать кнопку *«Сохранить»*.

Дерево полей. *«Дерево полей»* – это список всех созданных полей хозяйства (рис. 3.8).

«Дерево» содержит следующие сведения о поле:

- цвет культуры;
- статус года (год не открыт (серый), год открыт (зеленый), год закрыт (красный);
- иконку культуры;
- наименование;
- дату создания;
- площадь, га;
- название культуры;
- количество запланированных работ по годовому планированию;
- количество запланированных работ по оперативному планированию;
- количество учтенных работ из годового планирования.

Статусы. Цвет означает статус планирования (рис. 3.9).

- отсутствие плана – ;
- корректный план – 33;
- план с нарушениями – 0.

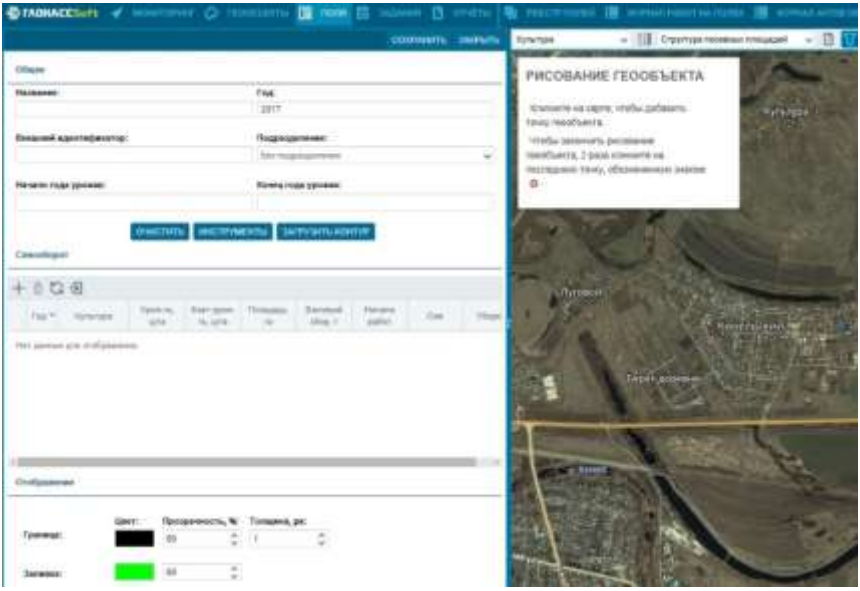


Рис. 3.7

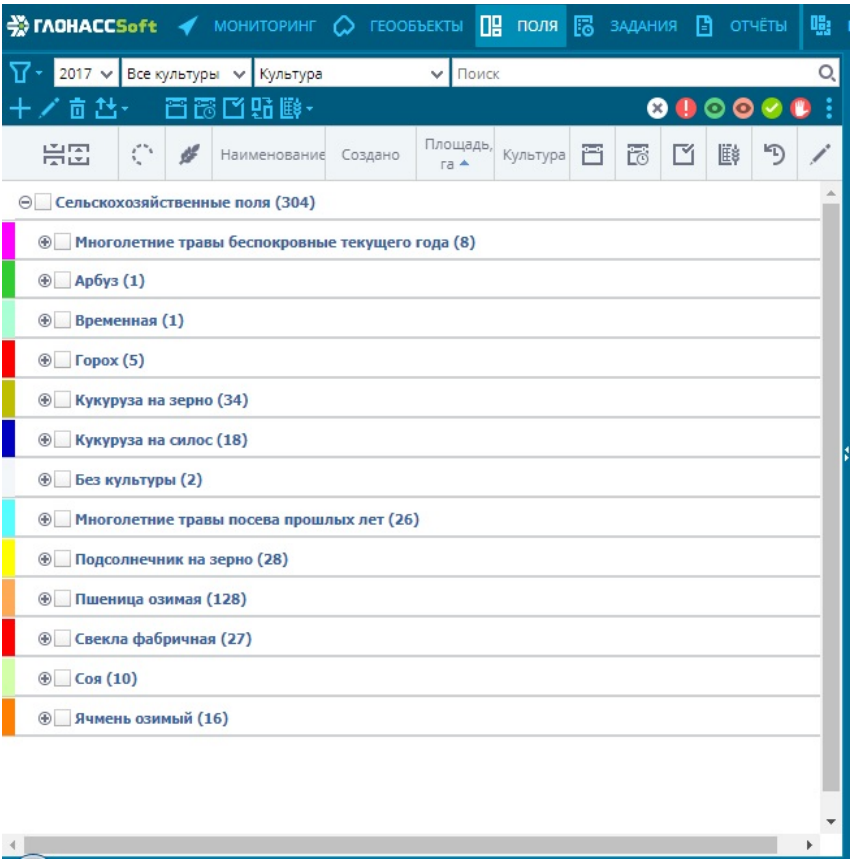

ГЛОНАССSoft
МОНИТОРИНГ
ГЕООБЪЕКТЫ
ПОЛЯ
ЗАДАНИЯ
ОТЧЁТЫ
2017
Все культуры
Культура
Поиск
Наименование
Создано
Площадь, га
Культура
Сельскохозяйственные поля (304)
Многолетние травы беспокровные текущего года (8)
Арбуз (1)
Временная (1)
Горох (5)
Кукуруза на зерно (34)
Кукуруза на силос (18)
Без культуры (2)
Многолетние травы посева прошлых лет (26)
Подсолнечник на зерно (28)
Пшеница озимая (128)
Свекла фабричная (27)
Соя (10)
Ячмень озимый (16)

Рис. 3.8

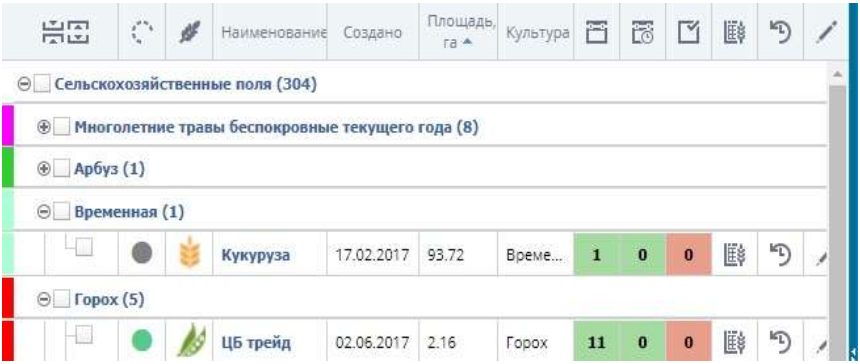

Наименование
Создано
Площадь, га
Культура
Сельскохозяйственные поля (304)
Многолетние травы беспокровные текущего года (8)
Арбуз (1)
Временная (1)
Кукуруза
17.02.2017
93.72
Време...
1
0
0
Горох (5)
ЦБ трейд
02.06.2017
2.16
Горох
11
0
0

Рис. 3.9

Фильтры. Отображение полей в *«Дереве»* зависит от множества фильтров (рис. 3.10):

1) Фильтр посещения полей. Отображает поля, посещения которых произошли в заданный период времени (рис. 3.11).

2) Также можно настроить длительность нахождения в области поля или ограничить фильтр видимой областью карты.

3) Год поля. Отображает поля заданного года.

4) Культура. Отображает поля заданной культуры.

5) Группировка полей. Доступны следующие типы группировки:

- без группировки;
- культура;
- статус;
- подразделение;
- клиент;
- статус-культура;
- культура-подразделение;
- подразделение-культура;
- клиент-подразделение;
- клиент-культура;

6) Поиск по имени поля.

7) Незапланированные поля.

8) Поля, запланированные без нарушений.

9) Поля, запланированные с нарушениями.

10) Поля, по которым работы выполнены без нарушений.

11) Поля, по которым работы выполнены с нарушением сроков.

Функциональные кнопки. Для полей доступны следующие функции (рис. 3.12):

- добавление ;
- редактирование (рис. 3.13);
- удаление ;
- импорт/экспорт ;
- годовое планирование ;
- оперативное планирование ;
- учет факта ;
- синхронизация полей . Синхронизация полей – это копирование полей предыдущего года урожая в текущий год урожая;
- открытие/закрытие года урожая (рис. 3.14) (это период, в рамках которого должен производиться учет работ на полях,

планирование не обязательно должно быть привязано к этому периоду);

- построение отчета за произвольный период (рис. 3.15).

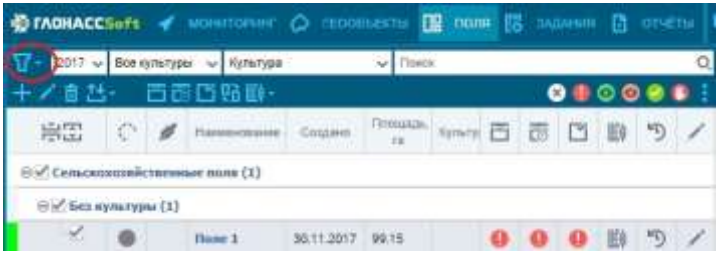


Рис. 3.10

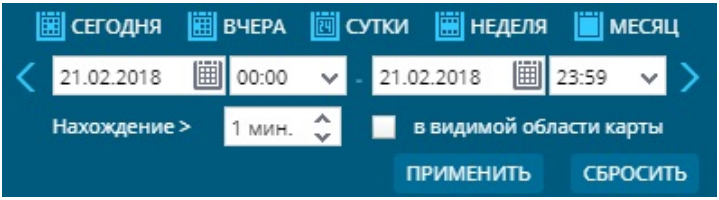


Рис. 3.11

Рис. 3.12

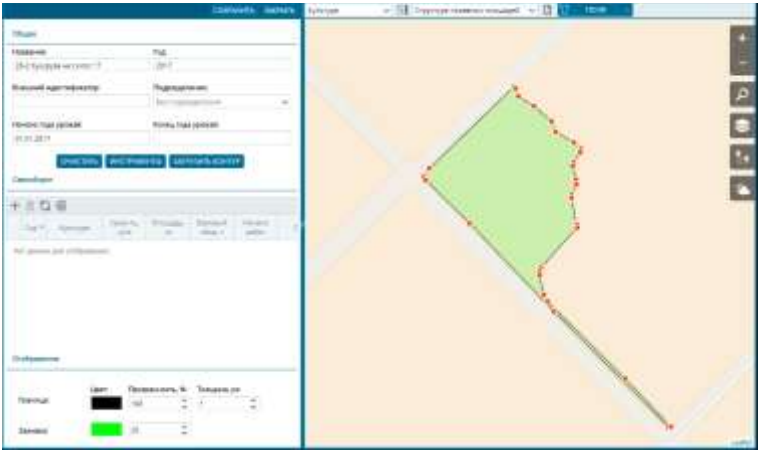


Рис. 3.13

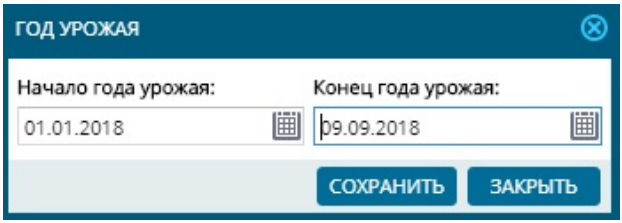


Рис. 3.14

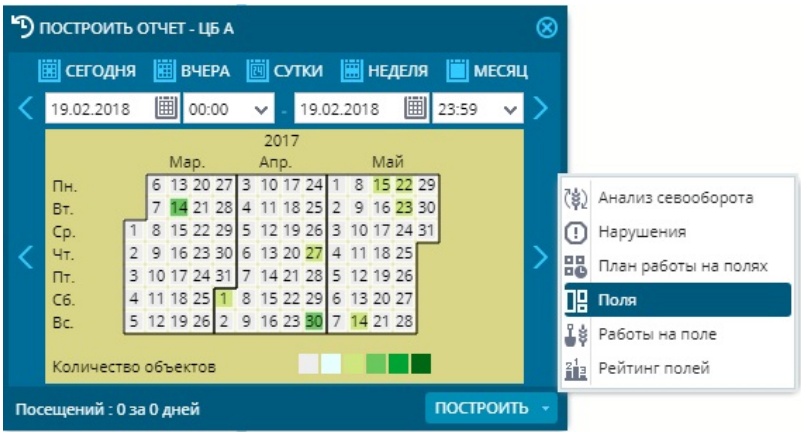


Рис. 3.15

Карта. Для отображения полей на карте (рис. 3.16) осуществляется их выбор в *«Дереве полей»*.

При наведении на контуры полей выводятся подсказки, которые содержат следующие сведения (рис. 3.17):

- статус года урожая (открыт (зеленый), закрыт (красный), не открыт (серый);
- название поля;
- культура;
- технология;
- площадь;
- урожайность;
- валовый сбор;
- подразделение;
- работы (количество запланированных работ, учтенных, и какая работа является текущей по плану).

В случае наличия севооборота за предыдущий год также отображается название культуры предыдущего года.

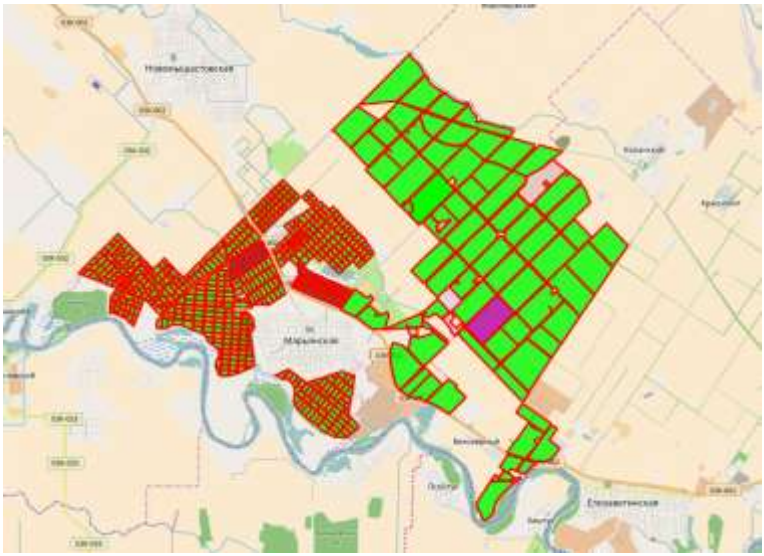


Рис. 3.16

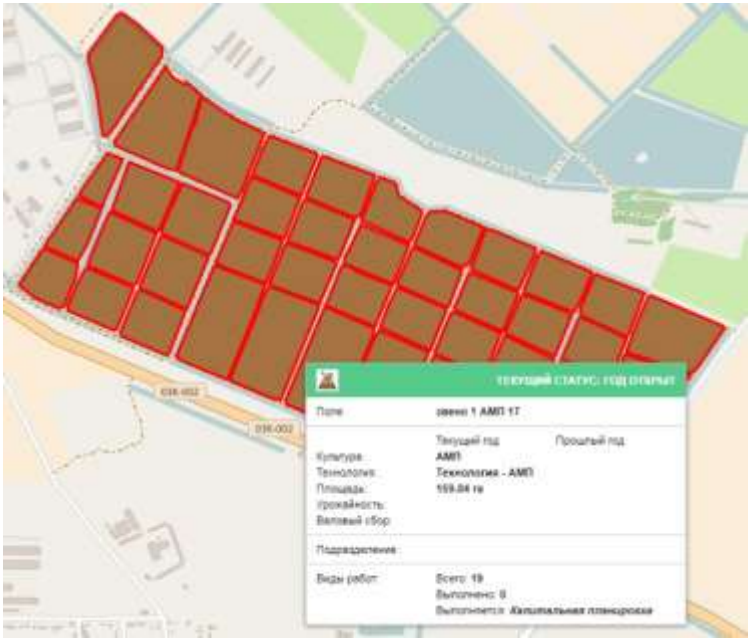


Рис. 3.17

При клике на соответствующее поле открывается панель инструментов, которая содержит набор инструментов для работы с полем и дублирует панель инструментов в дереве полей (рис. 3.18).

В набор инструментов входит:

- редактирование;
- годовое планирование;
- оперативное планирование;
- учет факта;
- построение отчета;
- редактирование года урожая;
- фотографии;
- очистка карты.

Рис. 3.18

Импорт/Экспорт. Экспорт полей (рис. 3.19) – быстрый способ выгрузки полей во внешний источник. В роли внешнего источника выступает набор *shape*-файлов.

Для экспорта необходимо нажать кнопку и выбрать поля в *«Дереве»*. Результат экспорта сохраняется в архив *7z* формата.

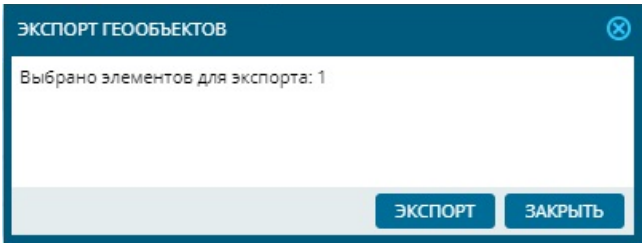


Рис. 3.19

Импорт полей – быстрый способ загрузки полей из внешнего источника. В роли внешнего источника могут выступать файлы формата *csv*, *kml* или набор *shape*-файлов.

Процесс импорта состоит из 4 шагов:

1) Нажать кнопку . Выбрать файл (рис. 3.20).

Рис. 3.20

2) Выбрать настройки для названия и геоданных (рис. 3.21). Этот шаг зависит от типа источника. Для файлов формата *csv* страница импорта содержит следующие настройки:

- название файла импорта;
- имя файла;
- разделитель для *csv* файла;

• формат описания геометрических объектов: широта/долгота, WKT, GeoJson;

• соответствующий геометрическому формату столбец из *csv* файла;

• проекция. По умолчанию используется WGS 84;

• столбец из *csv* файла, соответствующий названию поля;

• тип кодировки.

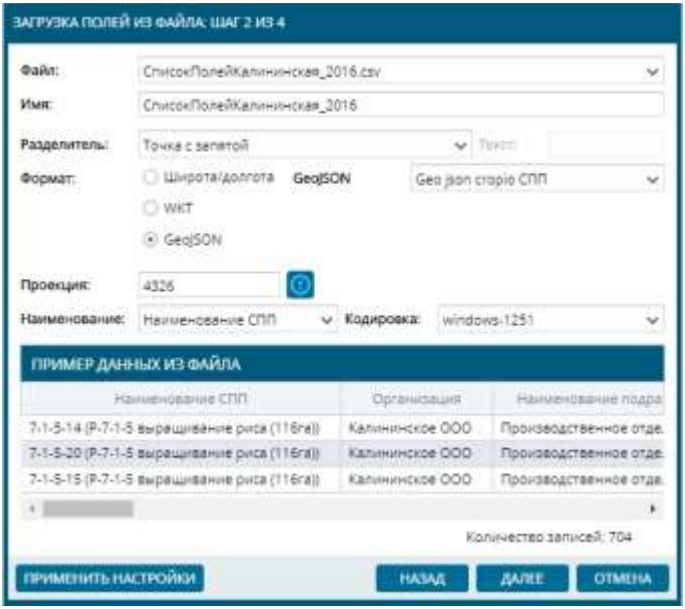


Рис. 3.21

Для набора shape-файлов страница импорта содержит следующие настройки (рис. 3.22):

• название файла импорта;

• имя файла;

• проекция. По умолчанию используется WGS 84;

• столбец из *shape* файла, соответствующий названию поля;

• тип кодировки.

Для файлов формата *kml* страница импорта содержит следующие настройки (рис. 3.23):

• название файла импорта;

• имя файла;

• проекция. По умолчанию используется WGS 84;

• столбец из *kml* файла, соответствующий названию поля;
• тип кодировки.

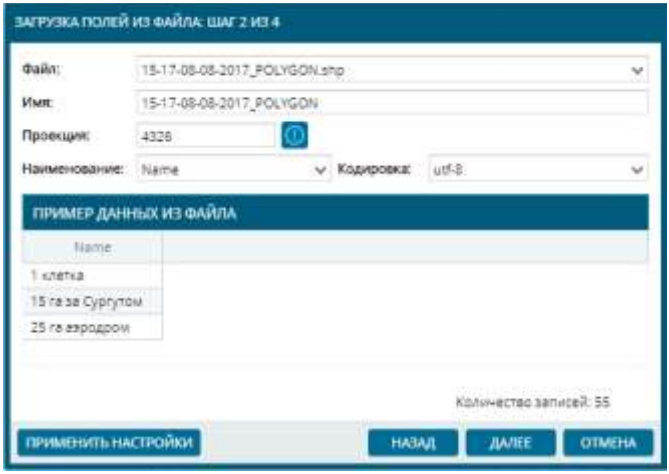


Рис. 3.22

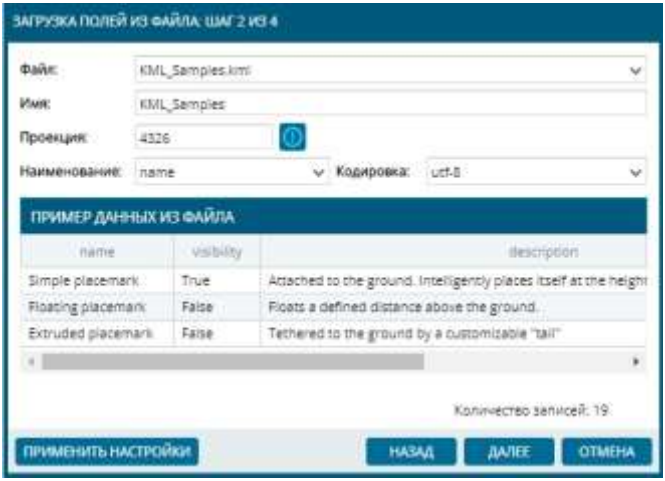


Рис. 3.23

Для всех типов источника данных в таблице под настройками отображается пример записей из файлов, которые будут далее импортированы.

3) Настроить отображения контуров на карте. Окно представляет собой страницу по настройке отображения контуров полей на карте (рис. 3.24).

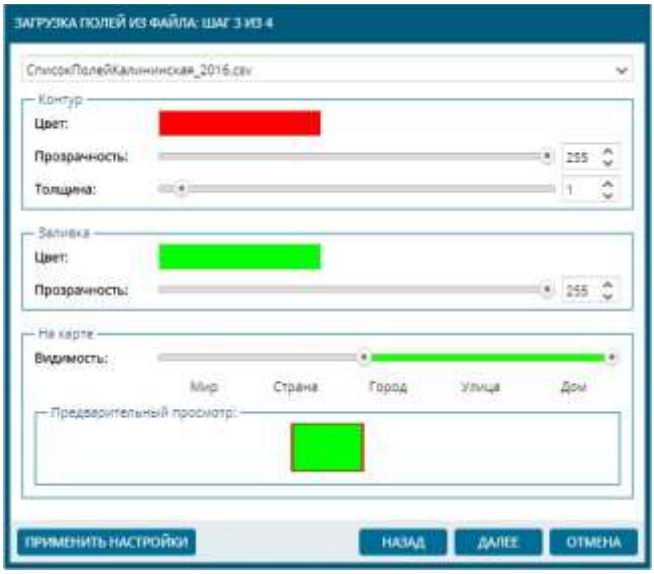


Рис. 3.24

4) Выбрать источник загрузки. Окно содержит информацию об источнике загрузки (рис. 3.25).

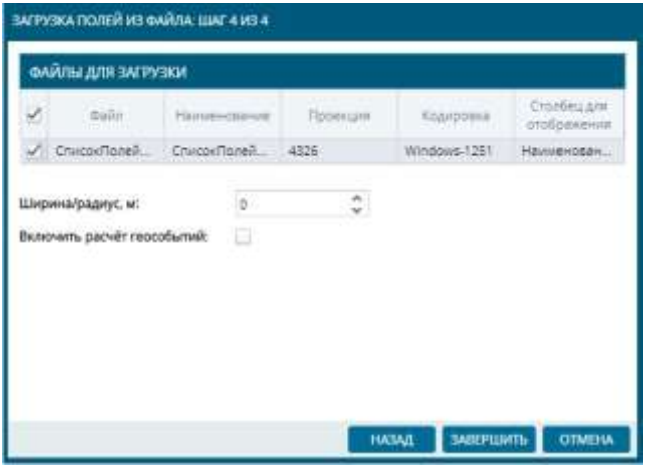


Рис. 3.25

Также есть настройки ширины/радиуса и запуска расчета геособытий.

Настройка ширины/радиуса является актуальной только для геозон, для которых допустимы простые типы геометрических областей, например линии.

При импорте полей типы загружаемых геометрических областей обязательно должны быть полигонами.

Контрольные вопросы

1. В чем состоит принципиальное отличие поля от геообъекта?
2. Каким образом можно создавать поля?
3. Какие сведения о поле содержит *«Дерево полей»*?
4. Какие функции и соответствующие функциональные кнопки доступны для полей?
5. Как осуществляется импорт и экспорт полей? Какие типы файлов используются?

3.3. Заполнение справочников

Для того, чтобы в полном объеме использовать решение «АгроТехнология 2.0» для планирования, контроля техники и агрегатов, анализа урожайности, структуры посевных площадей и использования материально-технических ценностей предприятия, необходимо заполнить соответствующие справочники.

На панели управления (рис. 2.5) необходимо выбрать вкладку *«Справочники»* (рис. 3.26) и соответствующий справочник.

Рис. 3.26

Справочник «Модели транспорта». Данный вид справочника содержит информацию об объектах (т.е. моделях транспорта),

имеющихся в хозяйстве. Порядок заполнения данного справочника рассмотрен в п. 2.1.

Справочник «Модели агрегатов». В данный вид справочника заносятся все используемые в предприятии агрегаты (сеялки, культиваторы, плуги и т.д.).

Агрегаты можно добавлять, редактировать или удалить, используя соответствующие кнопки , или (рис. 3.27).

Информация об агрегате содержит следующие поля (рис. 3.28):

- название;
- описание;
- ширина захвата;
- средняя скорость;
- технологическая скорость;
- транспортная скорость;
- совместимые модели объектов;
- виды работ.

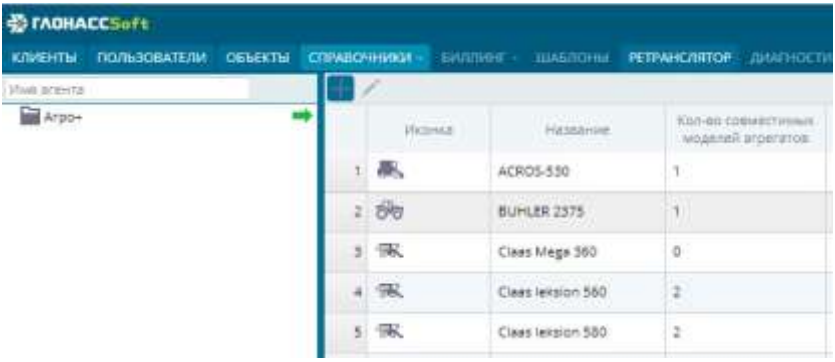


Рис. 3.27

При заполнении справочника необходимо присвоить каждому агрегату соответствующую модель транспорта, с которым может агрегатироваться данная техника, заполнив поле *«Совместимая модель объекта»*. Также необходимо заполнить технологические параметры данного агрегата. После заполнения данных об агрегатах в справочнике «Модели транспорта» появится информация о совместимых с данным объектом моделях агрегатов (рис. 3.29)

Виды работ, которые необходимо присвоить данному агрегату, будут доступны после заполнения соответствующего справочника (см. ниже).

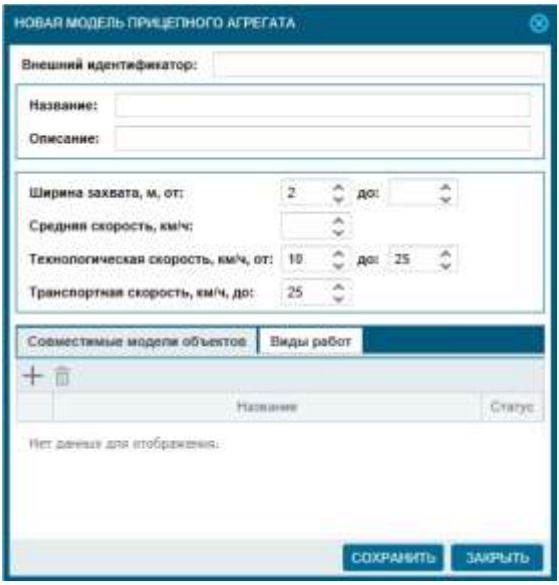


Рис. 3.28

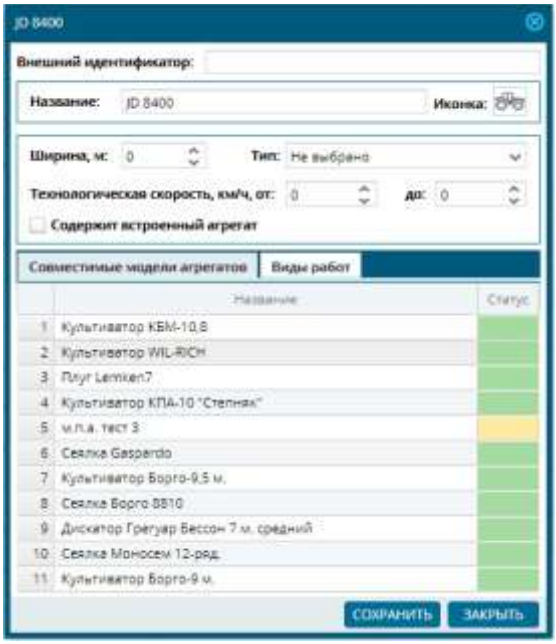


Рис. 3.29

Справочник «Подразделения». В данном справочнике добавляются подразделения предприятия, если это необходимо. Создать или отредактировать подразделения можно, используя соответствующие кнопки + или ✎ (рис. 3.30).

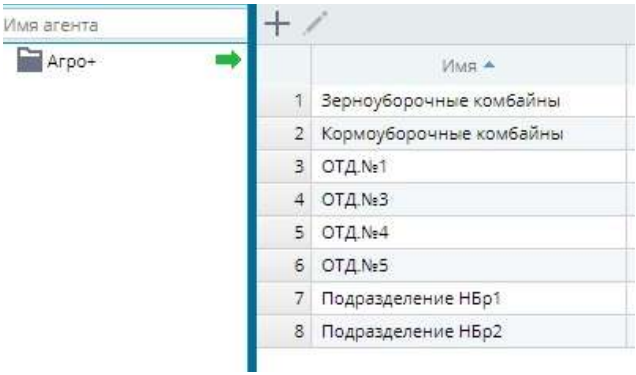


Рис. 3.30

Окно содержит следующие поля (рис. 3.31):

- название;
- цвет;
- описание.

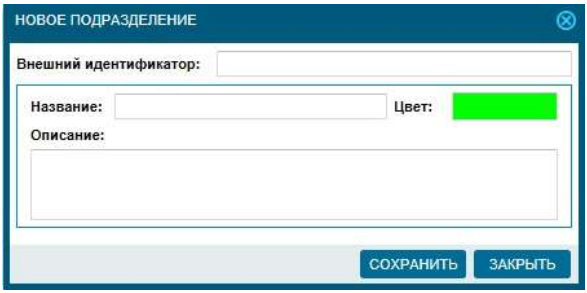


Рис. 3.31

Справочник «Радиометки» указываются карточки-считыватели, закрепленные за водителем, объектом или агрегатом. Окно содержит следующие поля (рис. 3.32):

- внешний идентификатор;
- название;
- номер;
- частота опроса.

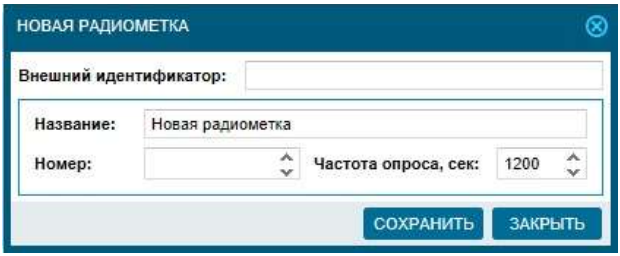


Рис. 3.32

Справочник «Водители». В данный справочник заносится информация о водителях. Окно содержит следующие поля (рис. 3.33):

- ФИО;
- примечание (не обязательно к заполнению);
- радиометка;
- дата найма;
- дата увольнения;
- объекты.

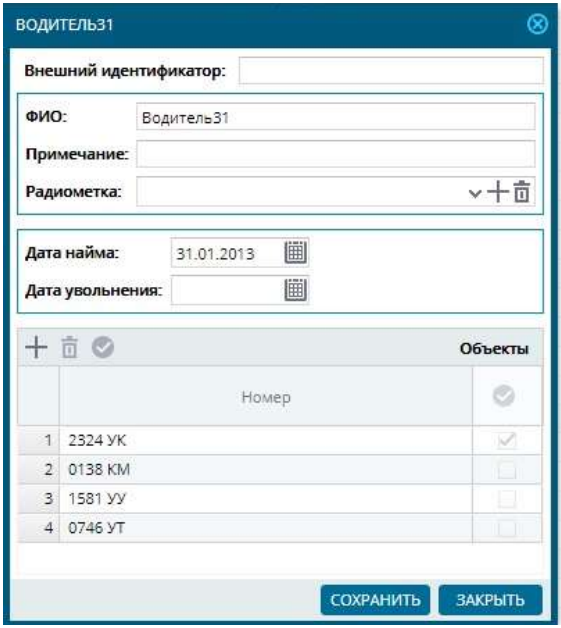


Рис. 3.33

При заполнении справочника необходимо добавить водителя, указать, используется ли радиометка, в соответствующем поле указать дату найма (увольнения), а также выбрать объект, т.е. технику, к работе на которой допускается данный водитель. За одним водителем может быть закреплено несколько объектов.

Справочник «Агрегаты». Окно справочника содержит:

- модель;
- гос. номер;
- примечание;
- радиометка.

В данный справочник (рис. 3.34) заносятся сведения о прицепных агрегатах, выбирается модель, указывается гос. номер и если используется радиометка для автоматического определения факта агрегатирования агрегата с трактором, то необходимо заполнить данные в поле *«Радиометка»*.

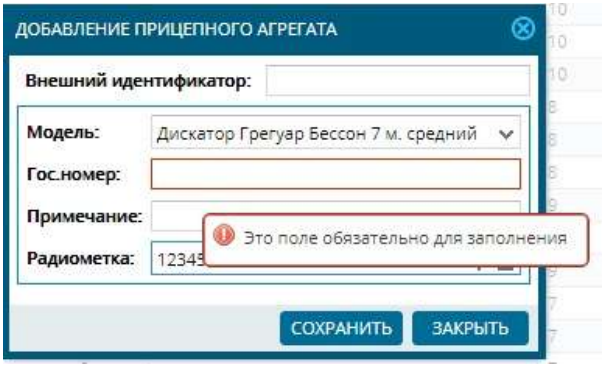


Рис. 3.34

Справочник «С/х культуры». Данный вид справочника содержит информацию о сельскохозяйственных культурах предприятия. Справочник необходим для планирования и учета работ на полях.

Культуры можно добавить, редактировать или удалить, используя соответствующие кнопки , или (рис. 3.35).

Окно создания и редактирования культуры содержит следующие сведения (рис. 3.36):

- наименование;
- иконка и цвет;
- урожайность, ц/га (эталонное значение);
- список технологий возделывания.

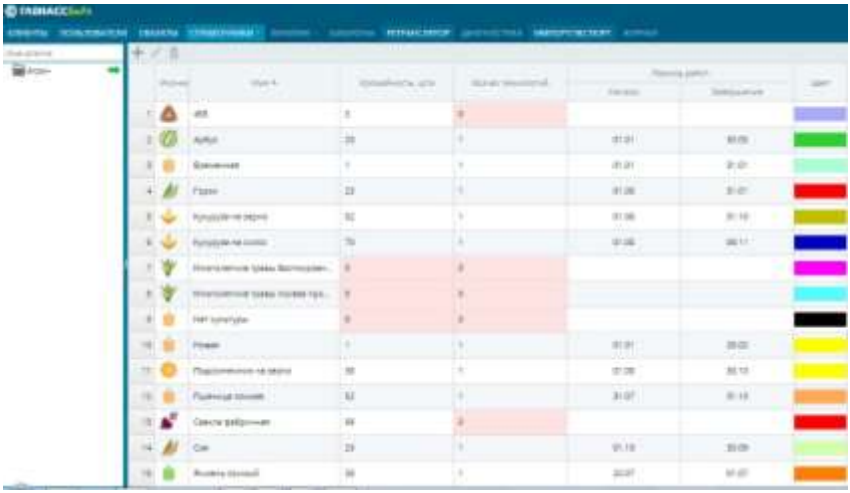


Рис. 3.35

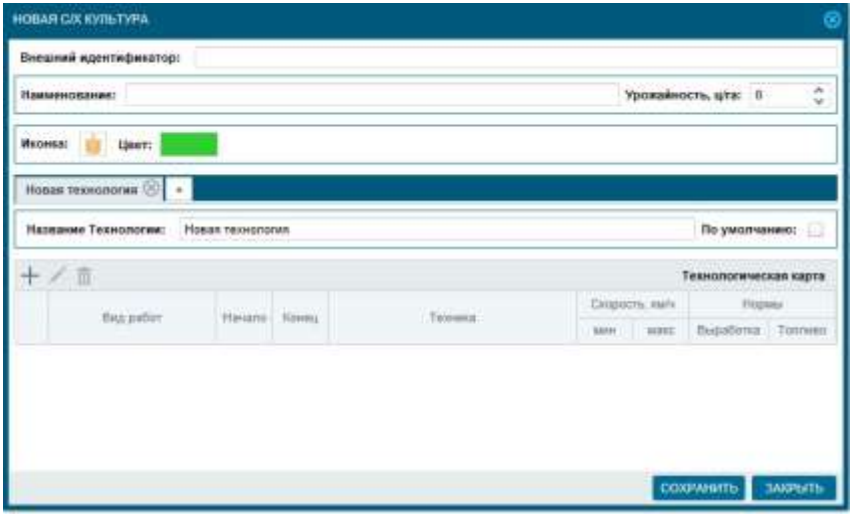


Рис. 3.36

Технология возделывания культуры представляет собой комплекс приемов, направленных на создание наиболее благоприятных условий для роста и развития растений.

Комплекс приемов технологии описывается с помощью технологической карты. Технологическая карта представляет собой таблицу, содержащую следующие сведения (3.37):

- вид работы;

• период работы (под периодом работы понимается календарный срок проведения работы; период работы задается относительно года сбора урожая, т.е. год периода работы может быть предыдущий относительно года сбора урожая, текущий или следующий);
• техника;
• диапазон допустимой скорости;
• нормы выработки и топлива.

Для культуры может быть назначена технология по умолчанию. Наличие технологии по умолчанию позволяет импортировать годовой план при импорте культуры.

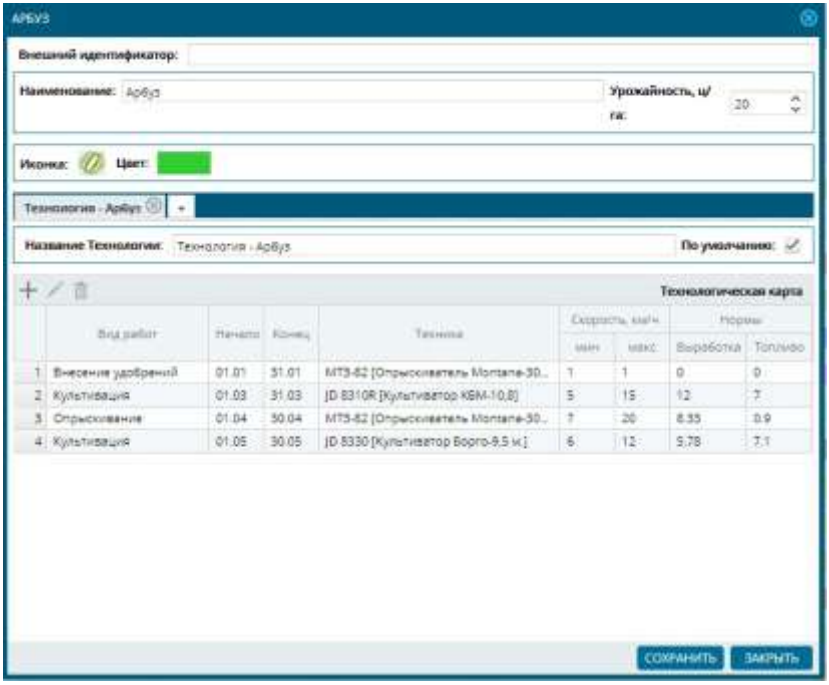


Рис. 3.37

Справочник «Виды работ» предоставляет информацию о видах работ предприятия.

Справочник необходим для планирования и учета работ на полях.

Данный справочник содержит две вкладки (рис. 3.38):
• *виды работ и технологические операции;*
• *тарифы за выполнение технологических операций.*

Рис. 3.38

Сначала необходимо заполнить окно *«Вид работ»* (нажав).

Виды работ. Окно создания или редактирования вида работы содержит следующие сведения (рис. 3.39):

- наименование;
- единица измерения;
- средняя скорость, км/ч;
- диапазон технологической скорости, км/ч.

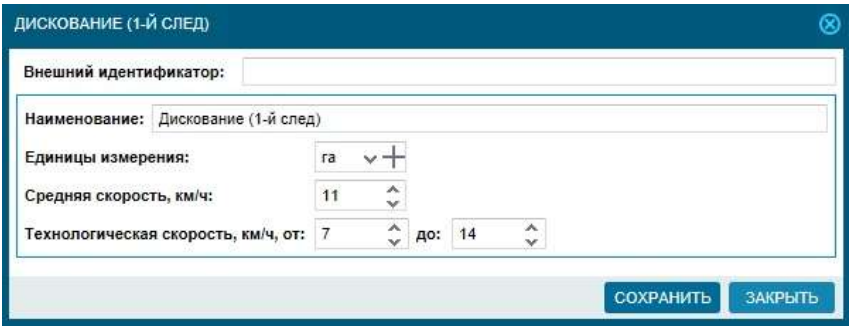


Рис. 3.39

Технологические операции. Технологическая операция является частью вида работы и представляет собой сочетание техники, применяемое в рамках данного вида работы.

Данная часть справочника необходима для планирования и учета работ на полях и представляет своего рода расширение

справочника вида работ с возможностью переопределения диапазона скоростей, ширины захвата указанной техники.

Создать, отредактировать или удалить технологическую операцию в рамках какого-либо вида работ можно, выбрав соответствующий вид работ и используя кнопки , или .

Окно *«Технологическая операция»* содержит следующие сведения (рис. 3.40):

- наименование;
- модель агрегата;
- модель объекта;
- диапазон технологической скорости;
- ширина захвата, м;
- норма выработки, га;
- норма расхода топлива, л/га;
- расценка за норму (выбирается в виде тарифа за выполнение технологической операции; может быть выбран существующий тариф, либо создан новый);
- доплата, %;
- доплата за вредность, %.

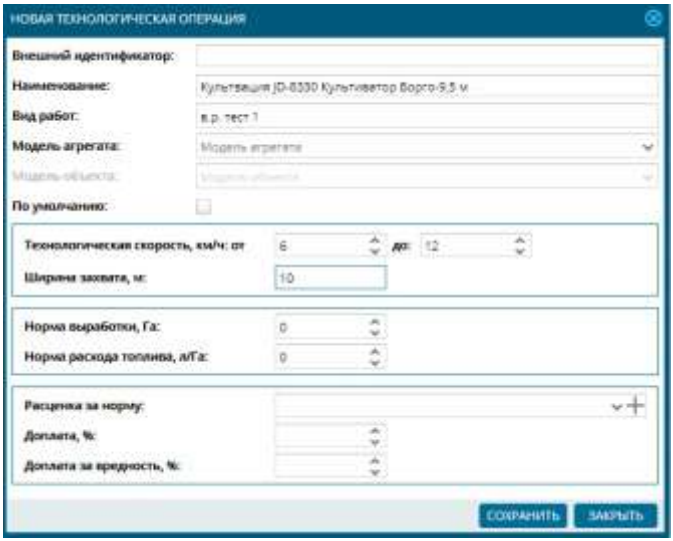


Рис. 3.40

Тарифы за выполнение технологических операций. Данная часть справочника предоставляет информацию о тарифе за

выполнение технологических операций, необходима для возможности задания расценок за норму. Расценка за норму задается в справочнике технологической операции.

Содержит следующие сведения (3.41):

- наименование;
- код;
- сумма, руб.

Справочник «Товарно-материальные ценности (ТМЦ)». Данный вид справочников предоставляет информацию о товарно-материальных ценностях предприятия. Справочники необходимы при планировании и учете работ на полях. Они помогают учитывать те или иные ресурсы, затраченные или полученные при выполнении сельхоз работ.

Справочниками товарно-материальных ценностей являются (рис. 3.42):

- *«Урожай»;*
- *«Семена»;*
- *«Удобрения»;*
- *«Средства защиты растений (СЗР)»;*
- *«Единицы измерения».*

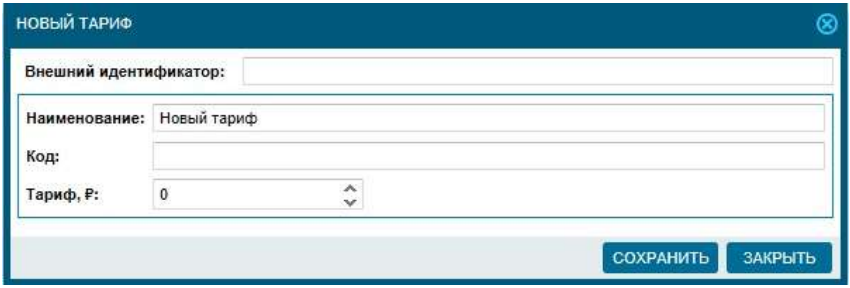


Рис. 3.41

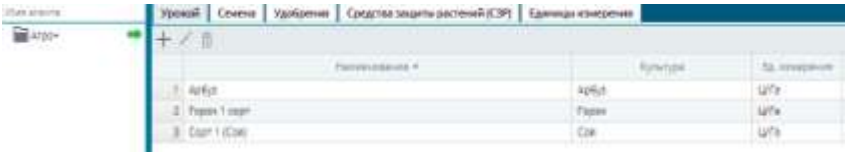


Рис. 3.42

Данные справочники можно создать, редактировать или удалить, используя соответствующие кнопки , или .

Справочник *«Удобрения»* содержит следующие поля (рис. 3.43):

- наименование;
- единица измерения.

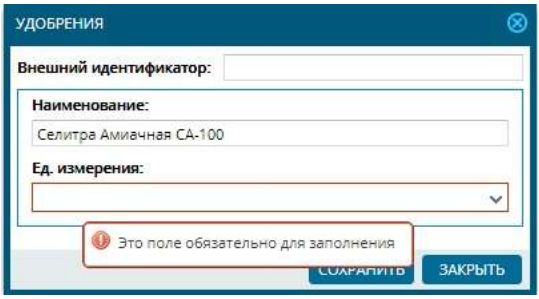


Рис. 3.43

Справочник *«Семена»* содержит следующие поля (рис. 3.44):

- наименование;
- культура;
- единица измерения.

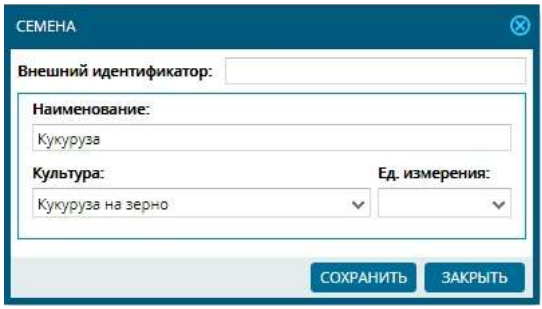


Рис. 3.44

Справочник *«Урожай»* содержит следующие поля (рис. 3.45):

- наименование;
- культура;
- единица измерения.

Справочник *«СЗР»* содержит следующие поля (рис. 3.46):

- наименование;
- единица измерения.

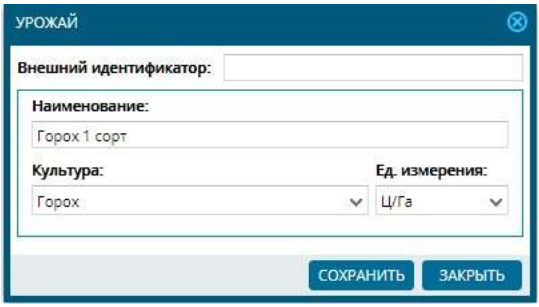


Рис. 3.45

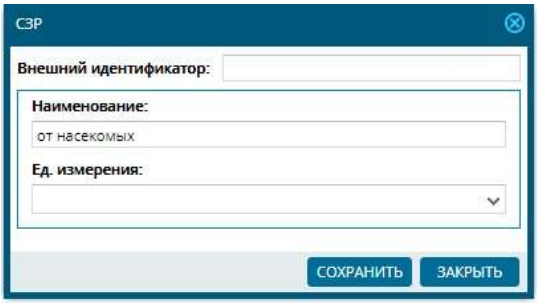


Рис. 3.46

Справочник *«Единицы измерения»* содержит сведения о наименовании (рис. 3.47).

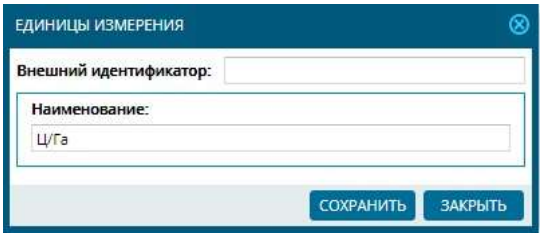


Рис. 3.47

Экспорт/импорт справочников. Экспорт и импорт справочников – быстрый способ загрузки и выгрузки данных справочников (рис. 3.48). Загрузка может быть произведена как напрямую, так и из предварительно настроенного шаблона. Выгрузка позволяет сформировать файл универсального формата для дальнейшей работы в других программах или печати. В роли внешнего источника могут выступать файлы формата *csv, xls xml.*

Рис. 3.48

Контрольные вопросы

1. Какую информацию содержит справочник *«Модели агрегатов»*?
2. Для чего предназначена технологическая карта?
3. Какую информацию предоставляет справочник *«Виды работы»*?
4. Для чего необходим справочник *«Товарно-материальные ценности (ТМЦ)»*? Какие товарно-материальные ценности в нем представлены?
5. Как осуществляется экспорт/импорт справочников?

3.4. Планирование и учет

3.4.1. Годовое планирование

Функция *«Годовое планирование»* позволяет назначать соответствующему с.-х. полю список планируемых работ. Позволяет утвердить план работ по каждому полю. Открывается с помощью функциональной кнопки на панели инструментов или в заголовке списка полей (рис. 3.49).

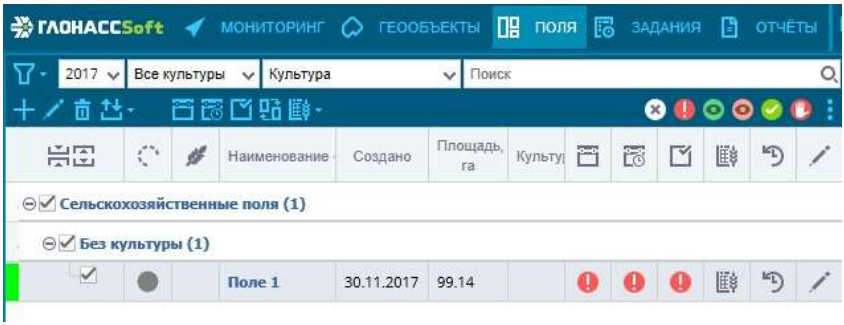


Рис. 3.49

Функция *«Годовое планирование»* состоит из следующих частей (рис. 3.50):

1) Культура и ее спецификация. Может быть выбрана существующая культура или создана новая. Сюда же включены такие сведения как технология культуры, урожайность и валовый сбор.

2) Посевная площадь. Посевная площадь – фиксированное значение, определяемое как площадь геообъекта.

3) Севооборот. Севооборот носит информативный характер.

4) Планируемые виды работ.

Планируемый вид работ состоит из следующих сведений:

- наименование технологической операции;
- коэффициент;
- объем работ (под объемом работ подразумевается произведение посевной площади поля на поправочный целочисленный коэффициент);
- дата начала работы;
- дата окончания работы;
- состав агрегата (состав агрегата – это техника, допустимая для данной технологической операции);
- ТМЦ;
- статус.

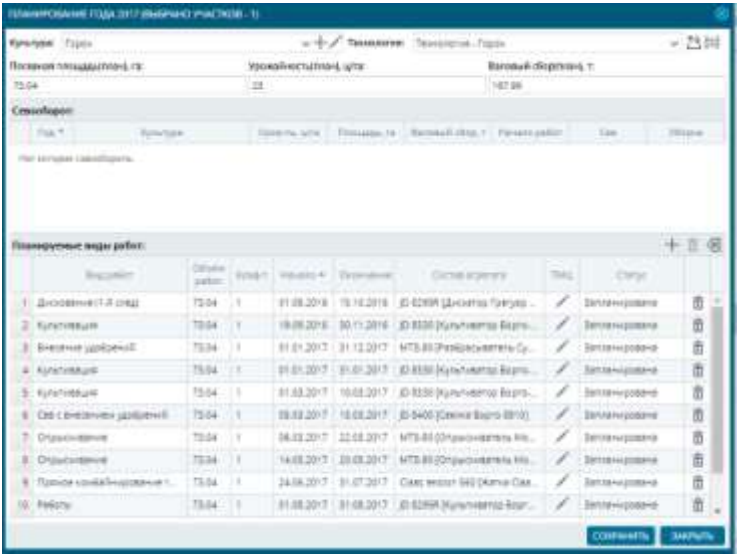


Рис. 3.50

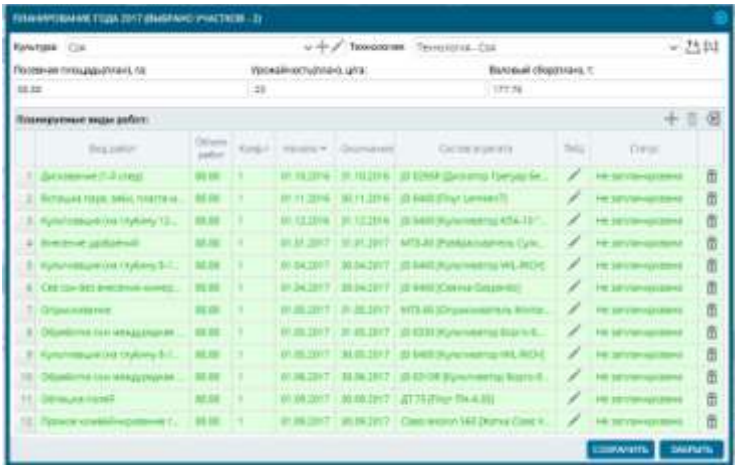


Рис. 3.51

Рис. 3.52

Список планируемых работ может быть задан вручную или взят непосредственно из технологической карты (рис. 3.51).

Чтобы использовать технологическую карту за основу планируемых работ, необходимо назначить полю культуру и технологию возделывания, а затем загрузить виды работ по умолчанию (с помощью кнопки).

В случае экстренного изменения решения о выращивании определенных культур, используется функция объединения технологических карт (кнопка).

Она позволяет сохранить историю запланированных видов работ до даты изменения решения. Дальнейшие виды работ будут взяты из технологической карты вновь назначенной культуры.

Годовое планирование для группы полей. На карте доступны кнопки для выделения области и создания годового плана (рис. 3.52). С помощью этих кнопок выделенным на карте полям (рис. 3.53) возможно назначить годовой план.

Перед планированием дополнительно отображается страница, где возможно дополнительно отфильтровать выбранные поля, сгруппированные по культурам (рис. 3.54).

Кнопка *«Годовое планирование»* позволяет перейти непосредственно к годовому планированию.

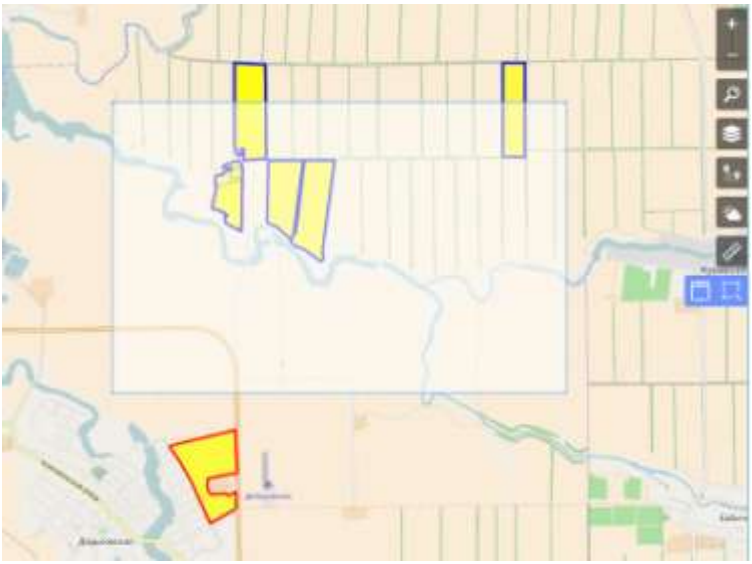


Рис. 3.53

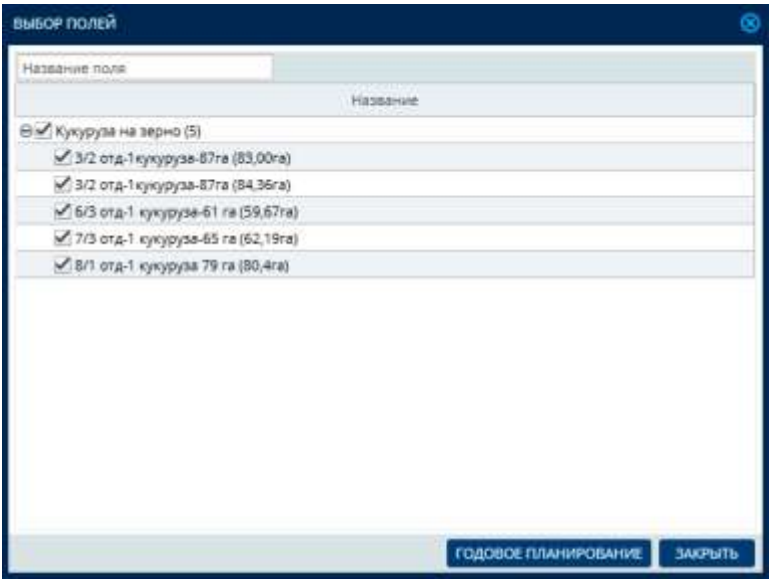


Рис. 3.54

Если выбрано одно поле, то просто откроется карточка годового плана этого поля. В случае групповой операции (выбрано

больше одного поля) у всех выделенных полей не должно быть годового плана, иначе это приведет к ошибке.

3.4.2. Оперативное планирование

Оперативное планирование – это назначение более конкретных (оперативных) планируемых работ. Оперативное планирование, как правило, используется для уточнения годового плана, когда известны более конкретные сроки выполнения работ.

С помощью функции *«Оперативное планирование»* производится уточнение сроков проведения работ или их отмены исходя из текущей ситуации на поле и прочих климатических и вегетационных факторов, т.е. агроном уточняет задачу исполнителям.

Учетчик предприятия на основании годового и оперативного плана назначает технику, агрегаты и исполнителей на каждую операцию.

При планировании задания механизаторам система учитывает совместимость агрегатов и техники с выполняемой работой.

«Оперативное планирование» открывается при помощи функциональной кнопки на панели инструментов или в заголовке списка полей (рис. 3.49).

Планируемый вид работ содержит следующие сведения (рис. 3.55):

- сведения из годового плана: наименование технологической операции, состав агрегата, дата начала и окончания работы:
- дату начала оперативного планирования;
- дату окончания оперативного планирования;
- статус.

Сведения о посевной площади, культуре, урожайности доступны только для чтения и носят информативный характер.

Для копирования дат годового плана в оперативный план можно использовать кнопку .

Севооборот. Севооборот – это чередование сельскохозяйственных культур во времени и на территории. Другими словами, севооборот – это история поля. История поля ведется для увеличения эффективности сельскохозяйственной деятельности.

Севооборот может быть задан вручную, импортирован из файла или загружен при помощи анализа контура геообъекта и поиска полей предыдущих лет, территориально одинаково расположенных по сравнению с текущим полем.

Информация о севообороте содержит следующие сведения (рис. 3.56):

- год;
- наименование культуры;
- урожайность, ц/га;
- площадь, га;
- валовый сбор, т;
- дата начала работ;
- сев;
- уборка.

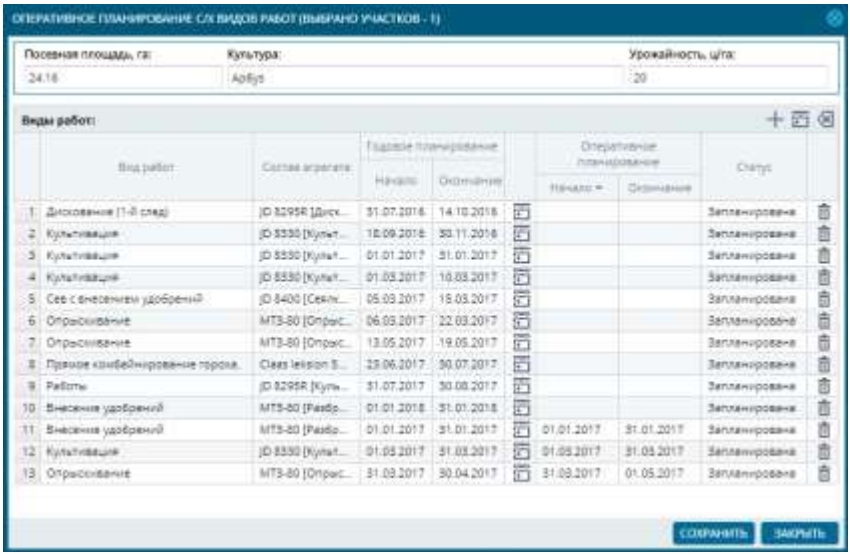


Рис. 3.55

	Год	Культура	Урож-ть, ц/га	Факт урож-ть, ц/га	Площадь, га	Валовый сбор, т	Начало работ	Сев	Уборк
1	2017	Кукуруза на ...	52	0	32.9	1710.98			
2	2016	Кукуруза на ...	52	48	32.9	1710.98	01.02.2016		
3	2015	Кукуруза на ...	52	0	32.9	1710.98	01.12.2014		
4	2014	Кукуруза на ...	52	0	32.9	1710.98	01.12.2013		

Рис. 3.56

3.4.3. Учет работ

Учет фактических работ на полях в системе называется учетом факта.

При нажатии кнопки на панели инструментов (рис. 3.49) или в списке полей открывается календарь учета факта (рис. 3.57) – это инструмент предварительного просмотра фактических работ по полю за какой-либо период, а также статуса учета этих работ.

Рис. 3.57

Виды статусов обработки:

- красный – означает отсутствие учтенных работ. При этом сами работы на поле проводились;
- синий – учтены объекты, которые не работали на поле;
- желтый – в этот период были временно учтены какие-либо работы;
- зеленый – все работы полностью учтены.

После выбора определенного периода и нажатия кнопки *«Учет факта»* для просмотра будет доступен основной режим учета факта.

Интерфейс *«Учет факта»* включает в себя следующие окна (рис. 3.58):

- работы на поле;
- текущие технологические операции;
- годовой план;

● график;
● окно принятия решения.

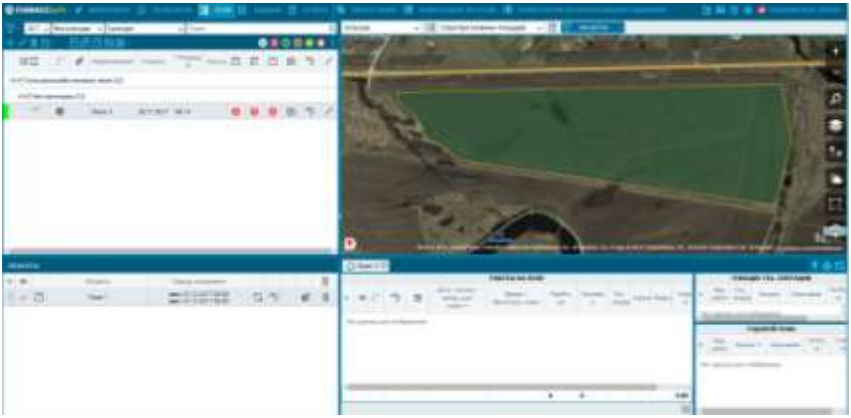


Рис. 3.58

Окно «Работы на поле» – это таблица всех учтенных и неучтенных работ на поле за определенный период времени, сгруппированные по объектам.

Таблица включает следующие столбцы (рис. 3.59):

● номер записи;
● видимость на карте;
● статус учета работы. Статус учета работы бывает следующих типов:
  – не учтено, решение не принято;
  – учтено, решение принято;
  – учтено, без работы;
● построение трека (по объекту);
● настройки работ на поле/групповые настройки для работ по одному объекту;
● дата начала и окончания работы;
● время/моточасы;
● пробег, км;
● топливо, л;
● технологическая операция;
● агрегат;
● водитель;

• $S_{обр.}$, га – обработанная площадь (площадь геометрической области, которая определяется траекторией движения объекта и шириной агрегата);

• $S_{Vобр.}$, га – обработанная площадь с учетом скорости (площадь геометрической области, которая определяется траекторией движения объекта с учетом диапазона технологической скорости и шириной агрегата).

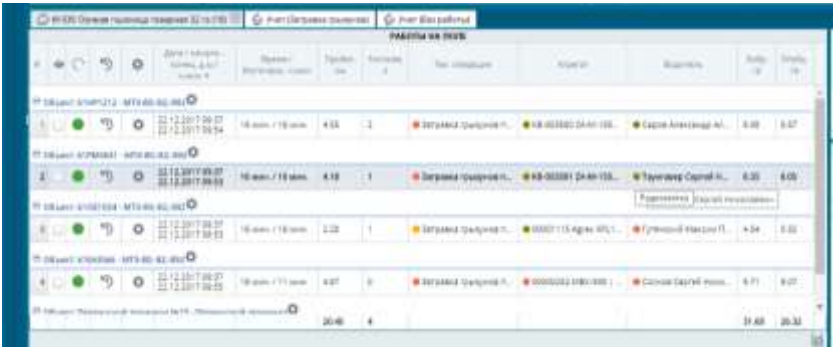


Рис. 3.59

Для технологической операции, агрегата и водителя существует цветовая метка. Эта цветовая метка показывает источник назначения данных. Он бывает следующих типов: не определено, пользователь, годовой план, оперативный план, задание, радиометка, по умолчанию, в соответствии с цветом метки:

- серый цвет – не определено;
- оранжевый цвет – пользователь;
- зеленый цвет – годовой план;
- светло-зеленый цвет – оперативный план;
- красный цвет – задание;
- коричневый цвет – радиометка;
- синий цвет – по умолчанию.

Чтобы учесть какую-либо работу на поле, необходимо использовать настройки работ на поле.

Настройки работ содержат следующие сведения (рис. 3.60):

- технологическая операция;
- водитель;
- модель агрегата;
- агрегат;

- скорость;
- минимальная скорость, км/ч;
- максимальная скорость, км/ч;
- ширина;
- $S_{поля}$, га;
- $S_{обр}$, га;
- $S_{Vобр}$, га.

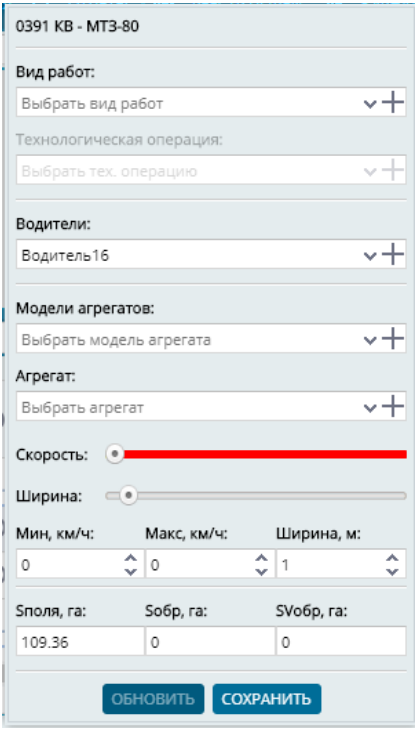


Рис. 3.60

Настройки технологической операции, водителя, модели агрегата и агрегата могут быть заданы из существующих справочников клиента или созданы новые.

При установке на сельскохозяйственную технику и агрегаты дополнительного оборудования, такого как RFID-считыватели и радиометки, а также использования персональных карт, учет водителей и агрегатов, а также выполненных работ может производиться автоматически. При этом учитывается уникальный номер агрегата, сопоставляется тип и размер агрегата с выполняемыми

работами. При необходимости, полученные данные могут быть проверены и отредактированы вручную.

Окно «Текущие технологические операции» – это таблица, сгруппированная по технологическим операциям, которые отражены в работах на поле.

Включает следующие поля (рис. 3.61):

- вид работ;
- технологическая операция;
- дата начала;
- дата окончания;
- площадь поля, га;
- учтенная площадь, га.

ТЕКУЩИЕ ТЕХ. ОПЕРАЦИИ

#	Вид работ	Тех. операция	Начало	Окончание	ПОЛЕ, га	ФАКТ, га
1	Опрыскивание	Опрыскивание Т-15...	08.08.2017	08.08.2017	31.90	3.88

Рис. 3.61

ГОДОВОЙ ПЛАН

#	Вид работ	Начало	Окончание	ПЛАН, га	УЧЕТ, га
1	Дискование (1-й след)	31.07.2016	15.10.2016	32.91	
2	Культивация	18.09.2016	30.11.2016	32.91	
3	Культивация	01.01.2017	31.01.2017	32.91	
4	Культивация	01.03.2017	10.03.2017	32.91	
5	Сев с внесением удобрений	05.03.2017	15.03.2017	32.91	
6	Опрыскивание	06.03.2017	22.05.2017	32.91	
7	Опрыскивание	13.05.2017	20.05.2017	32.91	
8	Прямое комбайнирование гороха	23.06.2017	31.07.2017	32.91	
9	Работы	31.07.2017	31.08.2017	32.91	
10	Опрыскивание	06.08.2017	08.08.2017		3.89
11	Обработка сои междурядная без внесения минеральных удобрений (вторая)	09.08.2017	09.08.2017		16.05
12	Внесение удобрений	01.01.2018	31.01.2018	32.91	

Рис. 3.62

Окно «Годовой план» – это таблица, содержащая информацию об учете работ годового планирования.

Включает следующие поля (рис. 3.62):

- вид работ;
- дата начала;
- дата окончания;
- площадь поля, га;
- учтенная площадь, га.

Также содержит информацию об учтенных работах вне годового плана. Такие записи выделяются красным цветом.

Окно «График». На графике отображается зависимость скорости движения объекта от времени в рамках выбранной работы на поле. В виде прямых линий отображаются минимальная, максимальная и средняя скорости (рис. 3.63).

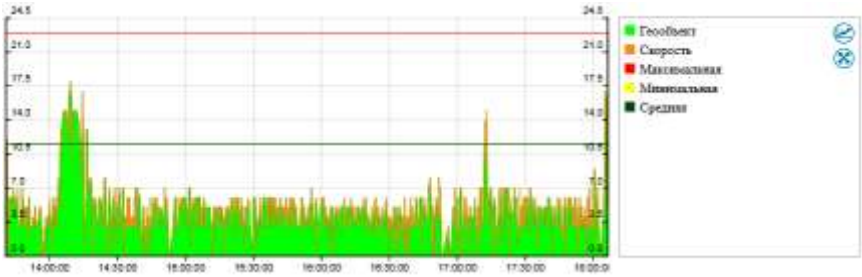


Рис. 3.63

Окно принятия решения. Окно принятия решения содержит сводную сравнительную информацию между плановыми и фактическими значениями площади обработки поля, топлива, скорости, затраченного времени. Окно принятия решения содержит информацию о списке технике, участвовавшей в работе на поле. Список техники можно корректировать, добавляя или удаляя определенную запись.

Рис. 3.64

Рис. 3.65

Также оно содержит информацию о товарно-материальных ценностях (ТМЦ).

Учет факта производится по обработанной площади, которую считает система. Также возможен ручной ввод площади в таблице *«Обработка»*, столбец *«Учет»*.

Существуют следующие способы учета работ:

- без нарушений;
- с нарушениями;
- временно;
- временно с нарушениями.

Временный учет – это своего рода промежуточный учет работы на поле. Временный учет используется, когда нужно объединять работы на полях в рамках одного вида работ за разные промежутки времени.

Учет с нарушениями позволяет добавить дополнительное текстовое описание при учете.

Удаление столбца *«Учет»* можно произвести, если появляется в этом необходимость.

3.4.4. Постановка заданий механизаторам

Задания в системе создаются для конкретного объекта из автопарка клиента с обязательным уточнением водителя (механизатора). Роль заданий – определение работ, которые будет проводить техника за определенный период и на определенных полях. Создать задание можно через столбец в *«Дереве полей»* (рис. 3.66).

Окно «Карточка редактирования задания». В карточке задания доступны следующие поля для заполнения (рис. 3.67):

- водитель (обязательное поле);

- дата/время начала (обязательное поле);
- дата/время завершения (обязательное поле);
- вид работ (обязательное поле);
- технологическая операция (обязательное поле);
- модель агрегата;
- агрегат;
- мин. скорость;
- макс. скорость;
- мин. ширина;
- макс. ширина;
- ТМЦ;
- норма внесения;
- единицы измерения;
- список полей;
- описание.

Роль заданий при учете факта. Задание участвует как источник данных при учете факта. Приоритет задания выше, чем у годового и оперативного планирования, но ниже, чем у радиометки. Если объект имеет запланированное задание, то при построении учета факта автоматически подтянется вид работ и технологическая операция, а самое важное – рассчитается площадь в соответствии с шириной из задания.

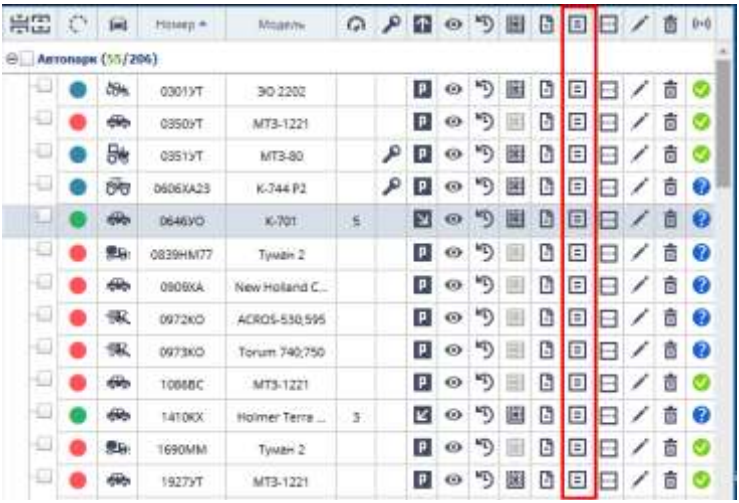


Рис. 3.66

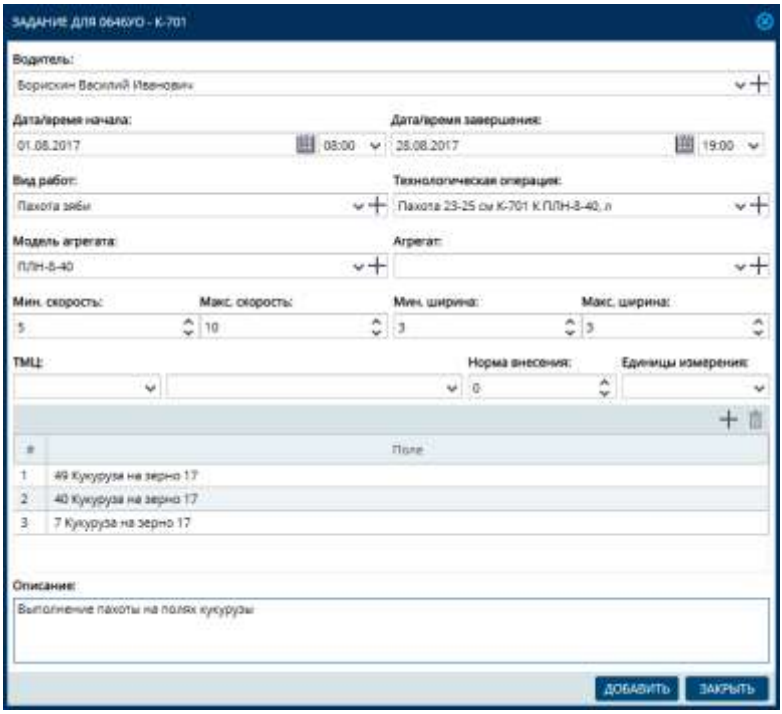


Рис. 3.67

Окно «Журнал заданий». В журнале заданий отображаются все созданные задания за период (рис. 3.68).

Данные в журнале схожи с теми, что на форме редактирования, дополненные столбцом *«Клиент»*:

- объект;
- модель;
- водитель;
- начало;
- окончание;
- вид работ;
- технологическая операция;
- модель агрегата;
- агрегат;
- ТМЦ;
- клиент.

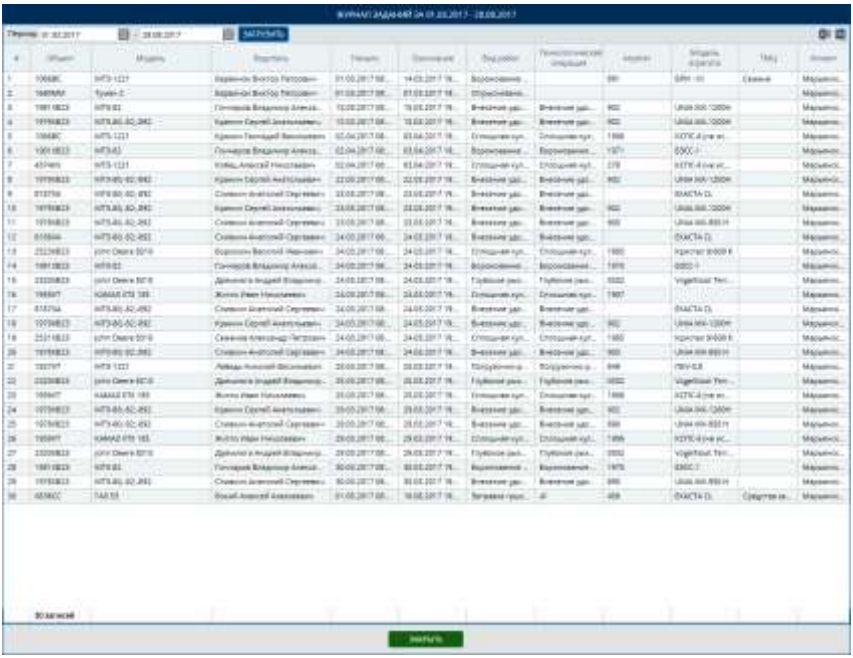


Рис. 3.68

Для журнала имеется возможность сделать экспорт в форматах EXCEL и PDF.

3.4.5. Агроскаутинг

Агроскаутинг – это комплекс полевых мероприятий, направленных на исследование и фотофиксацию состояния посевов и степени прироста растительной массы за период (рис. 3.69).

Мобильная версия программы позволяет делать фотографии с сохранением координат места съемки и загружать их на сервер, для дальнейшего просмотра через интерфейс программы.

Рис. 3.69

Рис. 3.70

Для проведения фотофиксации необходимо запустить мобильное приложение «ГЛОНАССсофт Monitoring», проверить доступность геотаргетинга и сделать фото. После этого фото могут быть загружены в данные о поле с учетом привязки координат (рис. 3.70).

Контрольные вопросы

1. Для чего предназначена функция *«Годовое планирование»*? Из каких частей состоит годовое планирование?
2. Для чего используется функция *«Оперативное планирование»*?
3. Что называется учетом факта?
4. Как выполняется установка заданий механизаторам?
5. Что такое агроскаутинг?

3.5. Дополнительные вкладки во вкладке «Поля»

При работе во вкладке *«Поля»* доступны дополнительные вкладки (рис. 3.7):

- *«Реестр полей»;*
- *«Журнал работ на полях»;*
- *«Журнал актов об использовании удобрений».*

Вкладка «Реестр полей» – список полей, на которых были какие-либо работы за выбранный день (рис. 3.71). Работы могут быть как учтенными, так и неучтенными. В окне реестра можно выделить следующие подразделы.

Фильтр загрузки включает в себя выбор даты, за которую необходимо загрузить поля и набор ограничений при выводе результирующего списка полей.

Столбчатая диаграмма *Площадь – Культура* позволяет оценить состояние обработки культур. Цвета столбцов – это цвета, назначенные культурам.

Итоговые данные:

- общая площадь;
- площадь, обработанная без определенных технологий (без работы);
- общая учтенная площадь;
- общая неучтенная площадь;

Список полей группируется по культуре.

Рис. 3.71

Таблица полей содержит следующие столбцы (рис. 3.72):

- поле;
- площадь, га;
- обработано, га;
- год урожая;
- решение;
- факт – необходим для быстрой навигации к учету факта;
- клиент.

Поля с неучтенными работами выделяются красным цветом.

Вкладка «Журнал работ на полях» – это сводная информация по всем учтенным работам клиента за определенный период.

Вкладка *«Журнал работ на полях»* содержит следующие столбцы (рис. 3.73):

- номер объекта;
- модель объекта;
- дата начала работы;
- дата окончания работы;
- название поля;
- название культуры;
- название вида работы;

- имя водителя;
- модель агрегата;
- ширина, м;
- пробег, км;
- топливо;
- минимальная скорость;
- максимальная скорость;
- моточасы;
- площадь, га;
- учет, га;
- нарушения;
- имя клиента.

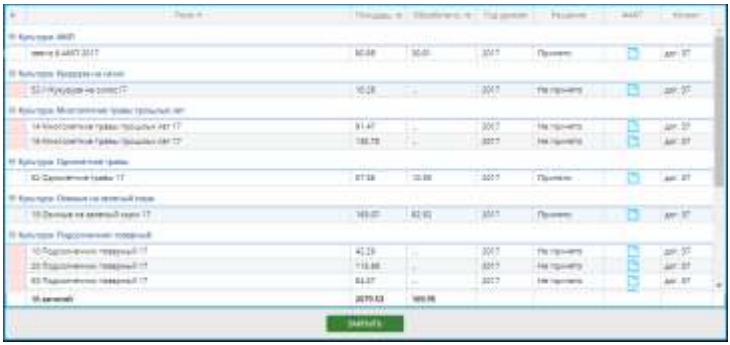


Рис. 3.72

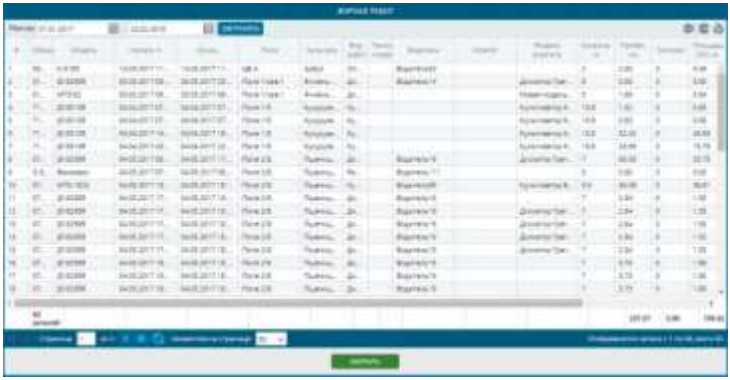


Рис. 3.73

Также выводятся итоговые значения по топливу, пробегу, площади и учету.

Журнал работ на полях можно отобразить в печатной форме, а также экспортировать в формате Excel или PDF.

Вкладка «Журнал актов об использовании удобрений» позволяет создать новый акт или загрузить список уже существующих за определенный период.

Акт об использовании удобрений состоит из следующих сведений (рис. 3.74):

- номер акта – целое значение, которое генерируется автоматически в порядке возрастания;
- дата утверждения;
- поле;
- культура;
- год урожая;
- организация;
- агроном;
- получатель;
- дебет;
- главный бухгалтер;
- назначение;
- список удобрений. Источником списка удобрений, которые будут включены в акт, являются ТМЦ типа удобрения ранее учтенных фактов.

Рис. 3.74

Контрольные вопросы

1. Какие подразделы доступны при работе во вкладке *«Поля»*?
2. Что такое реестр полей?
3. Какие сведения содержатся в таблице реестра полей?
4. Какие сведения содержит журнал работ на полях?
5. Какие сведения содержит журнал актов об использовании удобрений?

3.6. Работа с вкладкой «Отчеты»

Во вкладке *«Отчеты»* доступно построение отчетов по объектам, геообъектам и полям (рис. 3.75). Список отчетов содержит:

- базовые отчеты;
- агроотчеты;
- дополнительные отчеты.

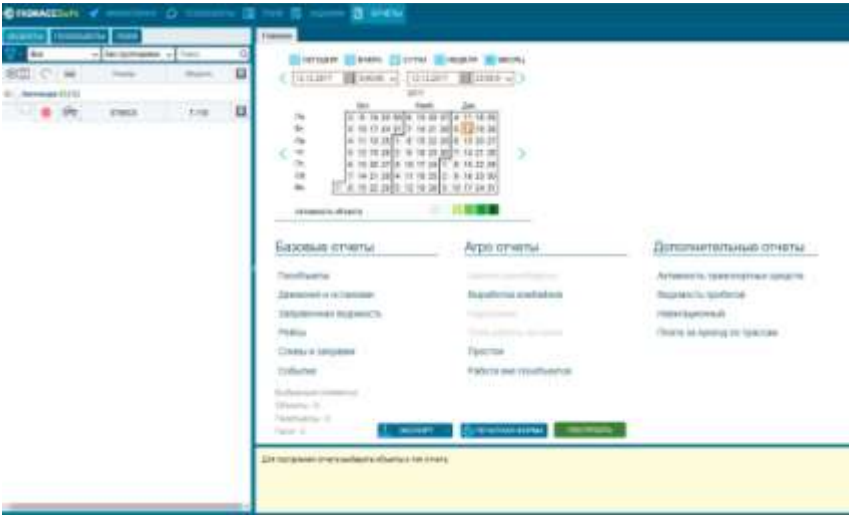


Рис. 3.75

При выборе вкладки *«Объекты»* доступны следующие отчеты:

➢ базовые отчеты:

- *«Геообъекты»* – показывает статистику пересечения геообъектов транспортным средством;
- *«Движения и остановки»* – отображает время и место остановок, среднюю скорость и пробег движений транспортного средства;
- *«Заправочная ведомость»* – отображает данные о работе топливозаправщиков;
- *«Рейсы»* – отображает сводные данные о пробеге, моточасах, топливе по рейсам за выбранный промежуток времени;
- *«Сливы и заправки»* – отображает время и место, а также объем сливов и заправок топлива транспортным средством;

• *«События»* – отображает хронологию всех событий, происходящих с транспортным средством за выбранный промежуток времени;

➢ агроотчеты:

• *«Выработка комбайнов»* – рассчитывает площадь обработки посещенных полей в разрезе дня. При расчете обработанной площади учитываются ширина и технологические скорости модели транспортного средства. Итоговые значения площадей рассчитываются с учетом пересечений треков транспортных средств;

• *«Простои»* – предоставляет данные о простоях при перегонах;

• «Работа вне геообъектов» – отчёт по потенциально возможным работам вне геообъектов;

➢ дополнительные отчеты:

• *«Активность транспортных средств»* – отчёт об активностях транспортных средств;

• *«Ведомость пробегов»* – отчет контроля пробегов;

• *«Навигационный»* – отчет по полученным данным от транспортного средства за период;

• *«Плата за проезд по трассам»* – позволяет оценить затраты на перевозки по трассам с учётом имеющейся собранной информации.

Основные из данных отчетов были рассмотрены в п. 2.2.

При выборе вкладки *«Геообъекты»* будет доступен только базовый отчет *«Геообъекты»*, показывающий статистику пересечения геообъектов транспортным средством (см. п. 2.3).

При выборе вкладки *«Поля»* доступны следующие отчеты:

➢ базовые отчеты:

• *«Геообъекты»*;

➢ агроотчеты:

• *«Анализ севооборота»* – отчет по севообороту для сельскохозяйственных культур;

• *«Нарушения»* – отчёт о нарушениях при выполнении сельскохозяйственных работ;

• *«План работы на полях»* – план работы на полях для сельскохозяйственных культур;

• *«Работы на поле»* – отчёт о произведенной работе на поле;

• *«Рейтинг полей»* – отчет по рейтингу полей сельскохозяйственных культур.

Для построения соответствующего отчета необходимо выбрать объекты и тип отчета. Доступны кнопки *«Экспорт», «Печатная форма», «Построить»*.

Отчет «Работа вне геообъектов». Под работой вне геообъектов понимаются треки объектов, которые удовлетворяют следующим условиям:

- нахождение вне геообъектов;
- соответствие диапазону технологической скорости.

Данный отчет представляет сводную информацию по потенциально возможным сельскохозяйственным работам вне геообъектов.

Входные параметры:

- диапазон времени;
- список объектов (машин);
- максимальная технологическая скорость;
- максимальная скорость для каждой модели (по умолчанию);
- одинаковая для всех максимальная скорость.

Параметр *«Максимальная технологическая скорость»* задается в настройках отчета (рис. 3.76).

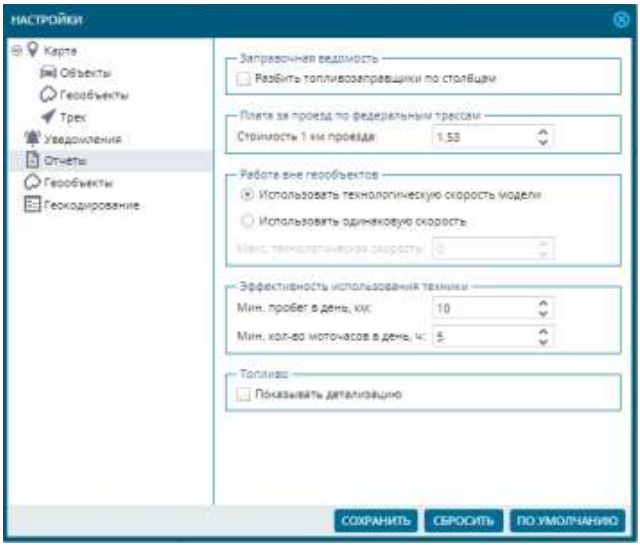


Рис. 3.76

Данные отчета (рис. 3.77):

- номер объекта;
- модель;

- водитель;
- начало работы;
- конец работы;
- продолжительность;
- пробег;
- моточасы;
- движение;
- холостой ход;
- топливо.

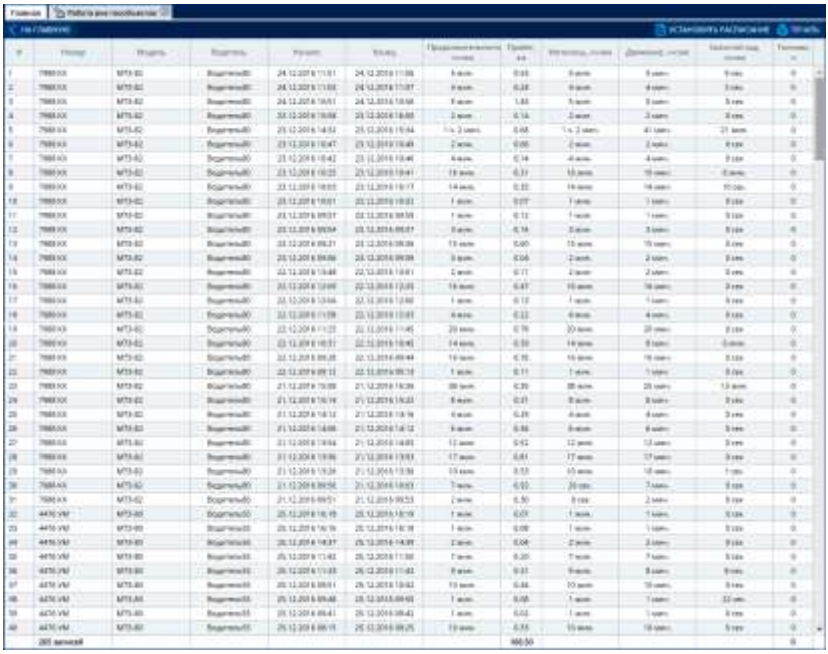


Рис. 3.77

Отчет «Работы на поле». Данный отчет представляет сводную информацию по плановым и фактическим работам на выбранных полях. На выходе получается сгруппированный по полям список видов работ из годового плана, дополненный данными из *«Учета факта»*. Цветовая сигнализация производится в случаях:

- выполнение работ не по плану;
- отрицательное отклонение.

Входные параметры:

- диапазон времени;

- список полей.

Данные отчета (рис. 3.78):

- наименование поля;
- культура;
- вид работ;
- начало вида работ по плану;
- конец вида работ по плану;
- площадь по плану (га);
- начало вида работ по факту;
- конец вида работ по факту;
- площадь по факту (га);
- отклонение (га).

Данные группируются по полям (рис. 3.78).

Рис. 3.78

В развернутом виде отчет представлен на рисунке 3.79.

Если работы выполнялись не по плану, то данные помечаются другим цветом.

Отчет «Нарушения». Данный отчет представляет информацию по нарушениям при выполнении сельскохозяйственных работ на полях.

Рассчитывается площадь, которая была обработана с превышением скорости по каждой паре *Техника – Агрегат* из факта.

Пропуском обработки считаем всю площадь, которая не попала в факт.

Двойная обработка считается по алгоритмам пересечения треков техники из факта.

По каждой паре *Техника – Агрегат* берем нормы по обработке за смену и расходу топлива за эту норму. Эти данные сравниваем с фактическими обработанными гектарами и расходом топлива (*«Выработка меньше нормы, га», «Топливо сверх нормы, л»*).

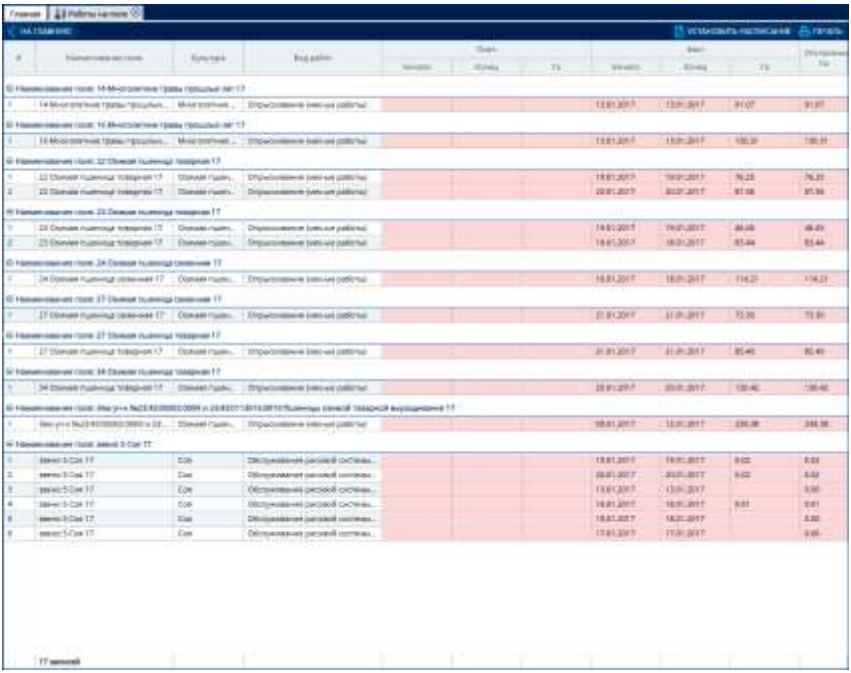


Рис. 3.79

Входные параметры:

- диапазон времени;
- список полей.

Данные отчета:

- наименование поля;
- культура;
- вид работ;
- начало;
- конец;
- обработано, га;
- максимальная скорость, км/ч;
- обработано с превышением скорости, га;
- пропуск, га;
- двойная обработка, га;
- сдвиг начало, дн.;
- сдвиг конец, дн.;
- выработка меньше нормы, га;
- топливо сверх нормы, л.

Рис. 3.80

Отчет «Эффективность использования техники». Данный отчет представляет информацию по эффективности объектов техники за выбранный период.

Критерием эффективности использования техники является отношение количества дней в эксплуатации техники к количеству дней выбранного периода построения.

День считается в эксплуатации, если выполняется два условия:

1) пробег за день больше минимального пробега в день;

2) моточасы за день больше минимального количества моточасов в день.

Входные параметры:

- диапазон времени;
- список объектов техники;
- минимальный пробег в день, км;
- минимальное количество моточасов в день, ч.

Параметры минимального пробега в день и минимального количества моточасов в день задаются в настройках отчета (рис. 3.81).

Данные отчета:

- номер объекта;
- модель;
- водитель;
- в эксплуатации, дн.;
- пробег;
- моточасы;
- движение;
- холостой ход;
- коэффициент использования.

Если коэффициент использования не превышает значение 0,5, то соответствующая ячейка выделяется другим цветом (рис. 3.82, 3.83).

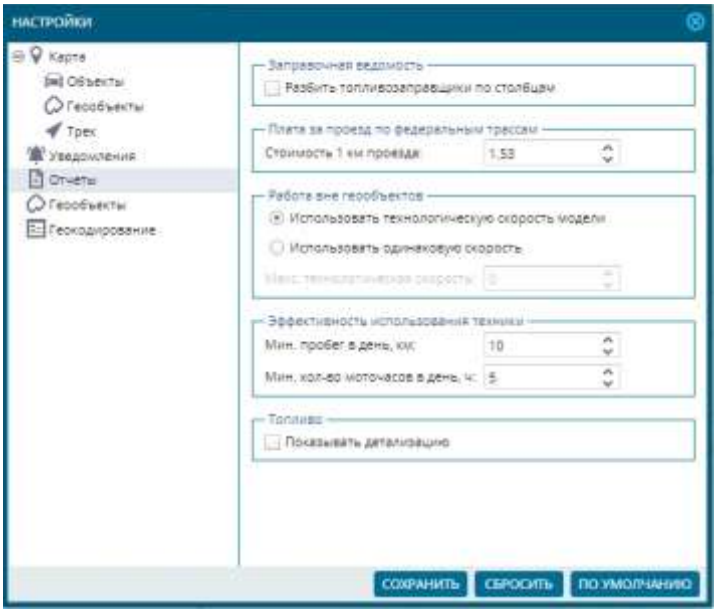


Рис. 3.81

Рис. 3.82

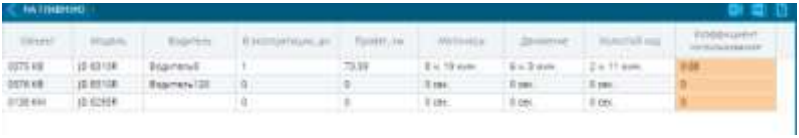


Рис. 3.83

Отчет «Выработка комбайнов». В данном отчете рассчитывается площадь обработки посещенных полей в разрезе дня.

При расчете обработанной площади учитываются ширина и технологические скорости модели транспортного средства. Итоговые значения площадей рассчитываются с учетом пересечений треков транспортных средств. Используются условные обозначения:

- $S_{обр}$ – площадь обработки;
- $S_{Vобр}$ – площадь обработки с учетом технологических скоростей.

Система сама определяет комбайны среди автопарка клиента. Признаком комбайна является указание в настройках модели, что модель содержит встроенный агрегат и технологические скорости.

Входные параметры:

- диапазон времени;
- список объектов.

Данные отчета:

- номер объекта;
- модель;
- ширина, м;
- площадь обработки, $S_{обр}/S_{Vобр}$, га;
- итоги.

Данные могут быть представлены относительно поля или относительно объекта. Пример отчета относительно поля представлен на рисунке 3.84.

Рис. 3.84

Пример отчета относительно объекта представлен на рисунке 3.85.

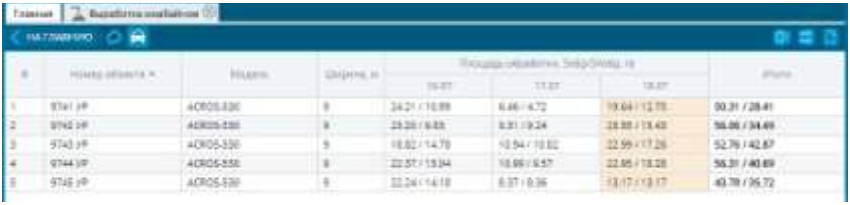


Рис. 3.85

Отчет «Анализ севооборота». Отчет представлен в табличной форме. Отображает данные о культурах, которые выращивались на полях за выбранный период времени.

Входные данные отчета: идентификаторы полей.

Данные отчета (рис. 3.86):

- подразделение;
- поле;
- обрабатываемая площадь;
- годы урожая.

Рис. 3.86

Отчет можно построить из меню над картой. Он строится для выделенных чеками полей в *«Дереве полей»* (рис. 3.87).

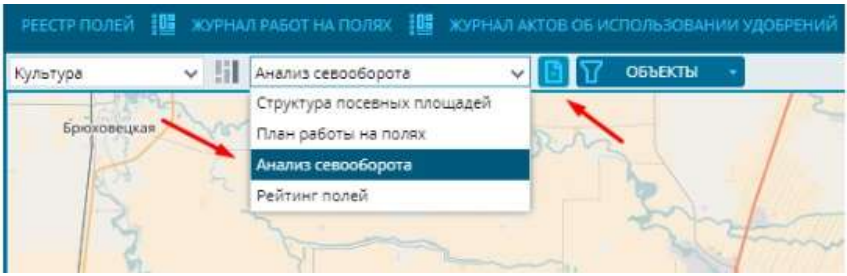


Рис. 3.87

Отчет «Структура посевных площадей».

Входные данные: идентификаторы полей.

Данные отчета: диаграммы.

Построение отчета происходит из меню над картой. Для этого прежде необходимо выделить чеками поля в *«Дереве полей»* (рис. 3.88).

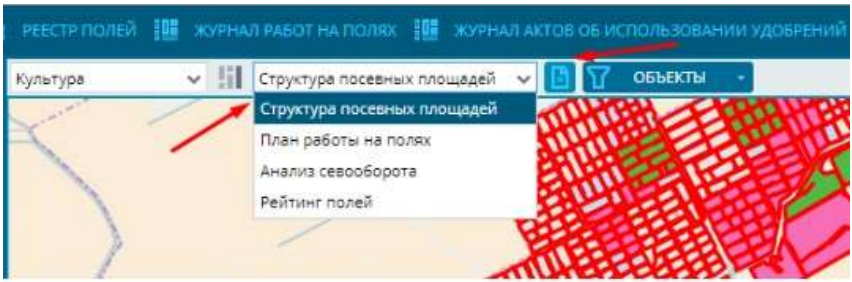


Рис. 3.88

Это интерактивный отчет, который предоставляет информацию о количестве и площади полей. На круговой диаграмме (рис. 3.89) отображаются поля, сгруппированные по подразделениям. На столбчатой диаграмме поля разделяются на группы по культурам с соответствующей цветовой раскраской.

Печатная форма отчета представлена на рисунке 3.90.

Отчет «План работы на полях». Это интерактивный отчет, который отображает операции годового планирования с отмененными, оперативного планирования, технологической карты и учеты фактов выбранных полей. Информация подается в виде диаграммы Ганта (рис. 3.91).

Входные данные отчета: идентификаторы полей.

Выходные данные: диаграмма Ганта.

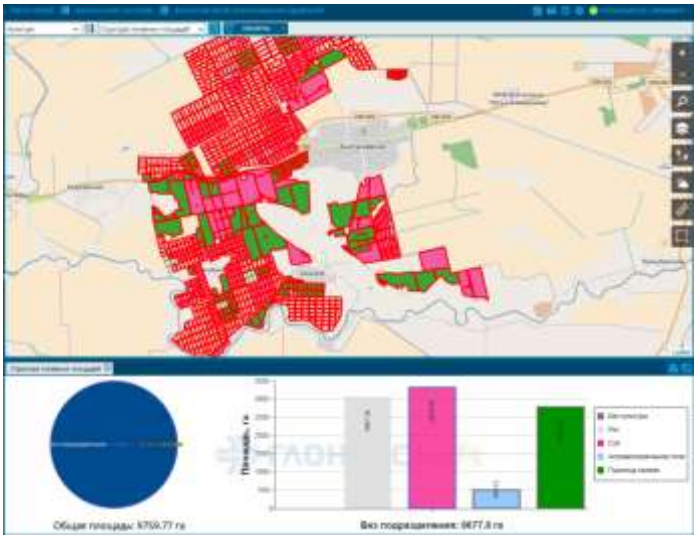


Рис. 3.89

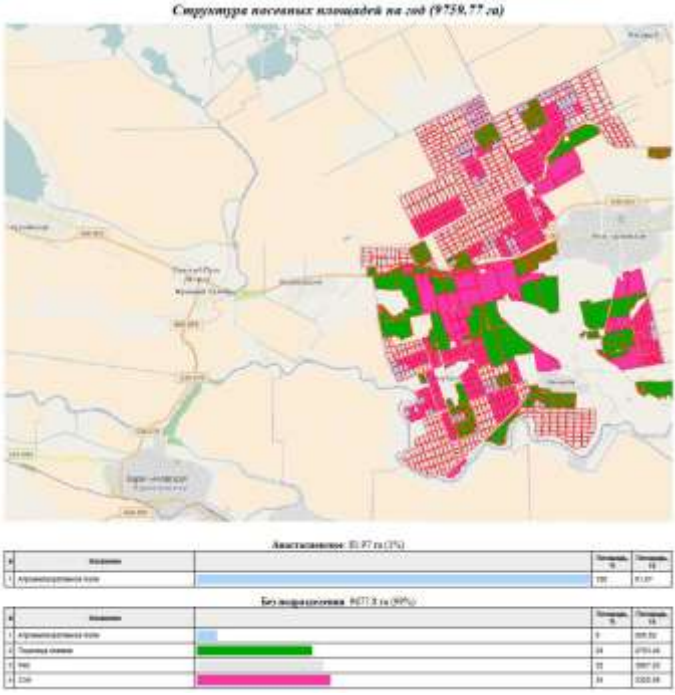


Рис. 3.90

Рис. 3.91

Отчет можно построить из меню над картой. Строится для выделенных чеками полей в *«Дереве полей»* (рис. 3.92).

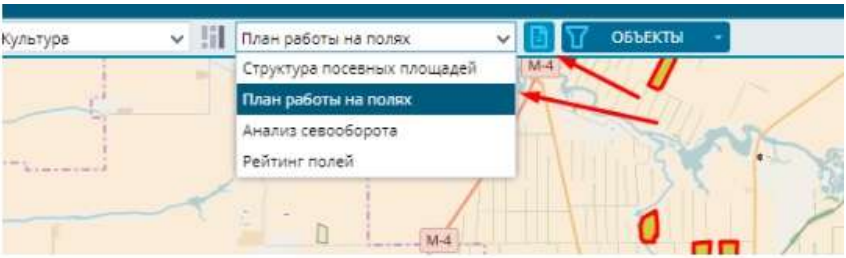


Рис. 3.92

Экспортных форм для этого отчета не предусмотрено.

Отчет «Рейтинг полей». Это табличный отчет, который строится на основании данных об обрабатываемых культурах на поле (рис. 3.93). Данные берутся из севооборота поля и фактических показателей по урожайности. В отчет попадает информация за все года урожая выбранного периода.

Входные данные отчета:

- период отчета;
- идентификаторы полей.

Выходные данные отчета:

- #;
- поле;
- подразделение;

- год:
  - культура;
  - фактическая урожайность;
  - отклонение (фактической урожайности от плановой);
  - индекс успешности.

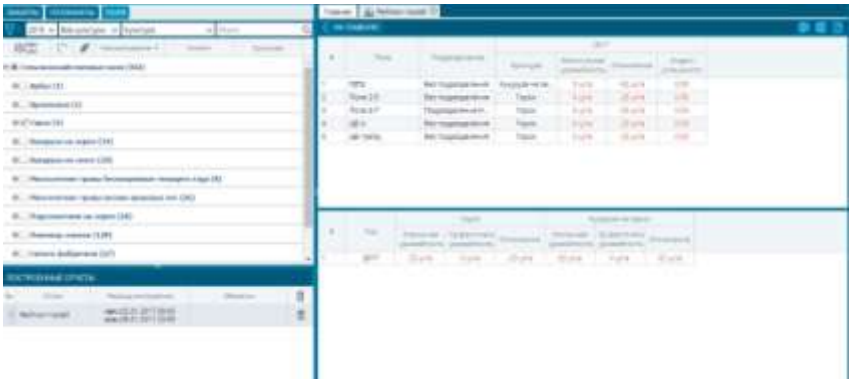


Рис. 3.93

Цвет строк в отчете зависит от фактической урожайности на поле:

- красный – фактическая урожайность меньше средней урожайности по культуре;
- оранжевый – фактическая урожайность больше средней, но меньше, чем на 110% от средней;
- зеленый – фактическая урожайность больше, чем 110% от средней.

Отчет можно построить из меню над картой. Отчет строится для выделенных чеками полей в *«Дереве полей»* (рис. 3.94).

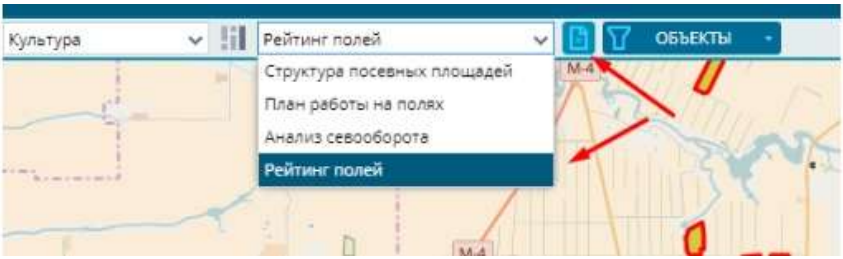


Рис. 3.94

В таблице итогов отображается сводная информация по культурам каждого года (рис. 3.95).

Рис. 3.95

Имеется EXCEL формат экспортной формы.

Отчет «Простои». Отчет отображает информацию о простоях объектов, которые по продолжительности больше 60 мин. Данные отчета разбиваются по суткам (это называется сменой в терминах отчета). В рамках суток формируется список остановок, которые могут быть как внутри геообъектов, так и снаружи (рис. 3.96).

Входные данные отчета:

- идентификаторы объектов;
- период запроса.

Выходные данные отчета:

- номер объекта;
- смена;
- простой (период остановки);
- длительность простоя и местоположение (общая продолжительность остановки);
- длительность простоя и местоположение (длительность холостого хода во время остановки);
- номер перегона (увеличение номера перегона происходит после остановки в геообъекте).

Рис. 3.96

Для отчета доступны экспортные формы EXCEL и PDF.

Отчет «Реестр выгрузки зерна». Табличный отчет отображает данные о выгрузке, которые приходят с датчика *«Выгрузка»*. Самое широкое применение отчета находится в АгроТехнологии, когда комбайны делают выгрузку зерна из бункера в процессе уборки поля.

Входные данные отчета:

- идентификаторы объектов;
- период запроса.

Выходные данные отчета (рис. 3.97):

- #;
- номер объекта;
- водитель;
- поле;
- событие;
- машины рядом (может быть несколько одновременно);
- начало;
- конец;
- продолжительность;
- урожайность;
- бункерная масса;
- обработанная площадь, га;
- адрес.

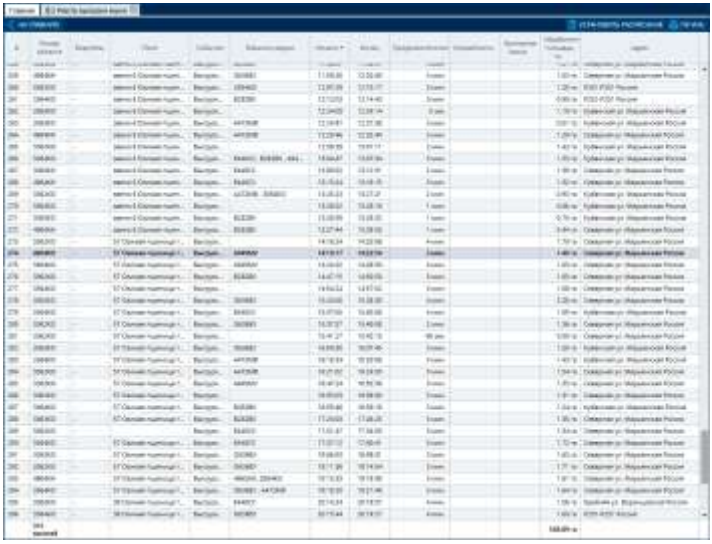


Рис. 3.97

Доступны экспортные формы отчета в EXCEL и PDF.

Контрольные вопросы

1. Какие группы отчетов доступны во вкладке *«Отчеты»*?
2. Какие отчеты входят в доступные базовые отчеты?
3. Какие отчеты входят в агроотчеты?
4. Какие отчеты входят в дополнительные?
5. В каких форматах можно экспортировать отчеты?

3.7. Работа с инструментом «Конструктор отчетов»

«Конструктор отчетов» – это специальный инструмент, который позволяет создавать пользовательские отчеты, хранить их и передавать другим пользователям приложения.

Чтобы начать работу с конструктором отчетов, необходимо в основном интерфейсе программы открыть вкладку *«Отчеты»* (рис. 3.98). Здесь расположены формы для построения готовых отчетов, которые делятся на *«базовые», «дополнительные», «агро» и «мои»* (т.е. созданные пользователем с помощью конструктора отчетов).

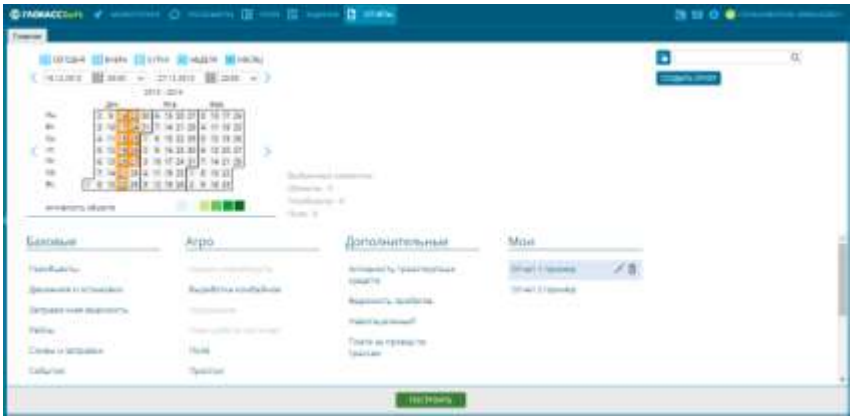


Рис. 3.98

При нажатии кнопки *«Создать отчет»* можно перейти к работе с функционалом *«Конструктор отчетов»* (рис. 3.99), в котором можно назвать или переименовать отчет, включить отчет в список быстрого доступа для других сотрудников компании

(добавить в избранное) или добавить возможность применять отчет из функционала *«Мониторинг транспорта»* (отображать в мониторинге).

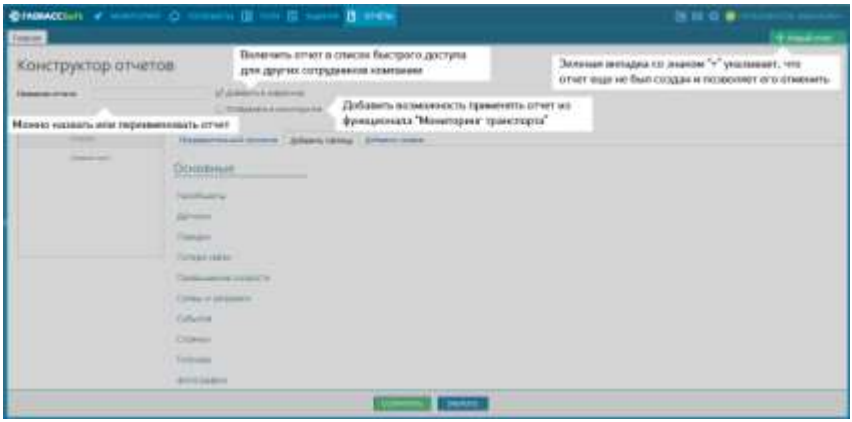


Рис. 3.99

Возможности конструктора отчетов. Конструктор отчетов позволяет собирать пользовательский отчет из таблиц и графиков данных (рис. 3.100).

Рис. 3.100

При помощи вкладки *«Предварительный просмотр»* можно увидеть, как будет выглядеть построенный отчет (рис. 3.101).

Пользовательские отчеты создаются на основе широкого набора готовых таблиц и графиков, но, так как эта информация чаще всего избыточна, то пользователи могут сами выбирать,

какие и в каком виде таблицы и графики им нужны для конкретных отчетов (рис. 3.102).

Рис. 3.101

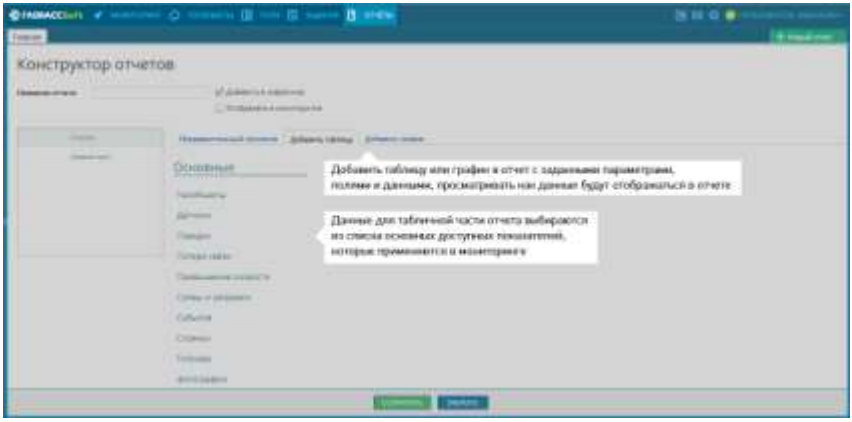


Рис. 3.102

Конструктор содержит наборы готовых табличных данных для создания отчетов:

- *«Геообъекты»* – включает в себя данные, сгруппированные вокруг понятия «геозона».
- *«Датчики»* – применяется для анализа данных от установленных датчиков.
- *«Поездки»* – применяется для общего анализа данных за поездку.

● *«Потери связи»* – применяется для анализа качества связи и выявления случаев саботажа.

● *«Превышение скорости»* – применяется для анализа работы техники с учетом скоростного режима.

● *«Сливы и заправки»* – применяется для контроля уровня топлива в баке и выявления фактов слива.

● *«События»* – отображает хронологию всех событий, произошедших с транспортным средством за выбранный промежуток времени.

● *«Стоянки»* – применяется для учета остановок и стоянок техники, их причин и затраченного на них времени.

● *«Топливо»* – применяется для составления подробных отчетов по расходу топлива.

В главном окне создания и редактирования отчета можно:

● назвать или переименовать отчет;

● увидеть список уже добавленных в отчет таблиц и графиков, отредактировать их, удалить или добавить новые;

● включить отчет в список быстрого доступа, доступный для других сотрудников фирмы;

● добавить возможность применять отчет из функционала *«Мониторинг транспорта»*.

Созданная таблица или график могут быть отредактированы, для этого нужно нажать на значок *«Карандаш»* в окне *«Список»*, а также они могут быть удалены из отчета, для этого необходимо нажать на значок *«Корзина»* в том же окне.

Создание и редактирование таблиц. Здесь можно указать те поля, которые будут отображаться в таблице отчета, отметив их галочками, например, только номер авто, водитель, адреса начала и окончания нарушения и т.д. (рис. 104).

По каждой таблице можно задать индивидуальный набор параметров. Например, для таблицы *«Превышение скорости»* можно установить значение скорости, превышение которого будет считаться нарушением, длительность движения с этой скоростью и др.

Данные могут быть сгруппированы по определенному признаку и отсортированы.

Создание и редактирование графиков. Графики строятся и добавляются в отчет аналогично таблицам.

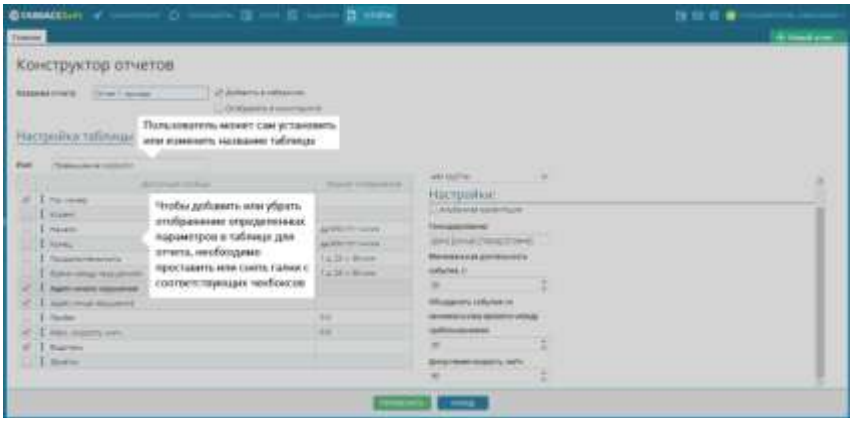


Рис. 3.103

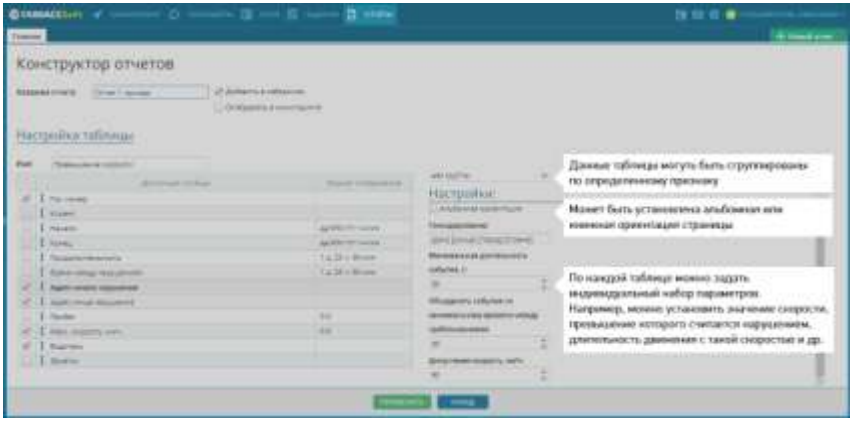


Рис. 3.104

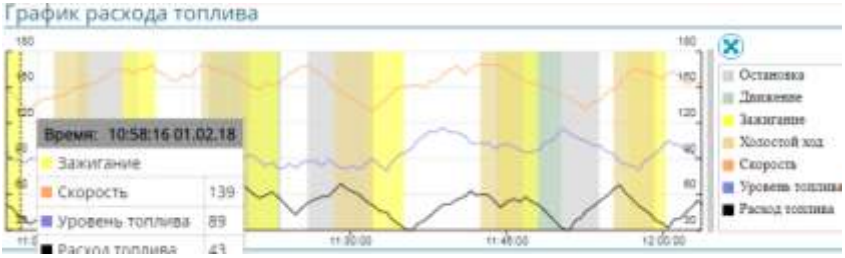


Рис. 3.105

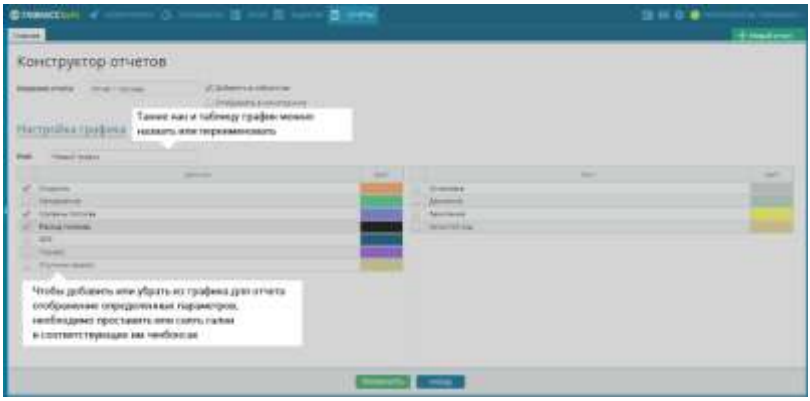


Рис. 3.106

Данные могут добавляться в график или удаляться из него при отметках в чекбоксах. При построении графика пользователь может сам выбрать цвет для отображения тех или иных показателей.

Готовый отчет сохраняется в группе отчетов *«Мои»* и будет доступен в любое время.

Контрольные вопросы

1. Для чего предназначен конструктор отчетов?
2. Назовите возможности конструктора отчетов.
3. Какие наборы готовых табличных данных для создания отчетов содержит конструктор?
4. Каким образом выполняется создание и редактирование таблиц в конструкторе отчетов?
5. Каким образом выполняется создание и редактирование графиков в конструкторе отчетов?

ПРИЛОЖЕНИЕ

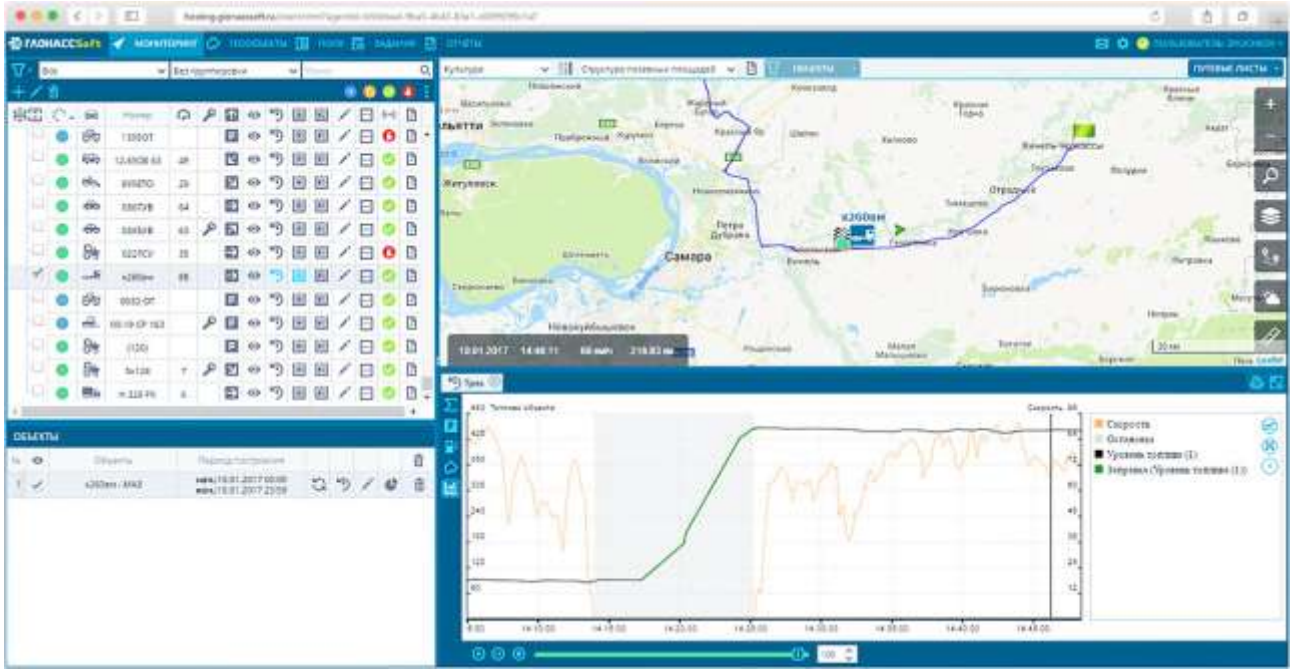


Рис. П.1. Пример истории изменения уровня топлива в баке автомобиля за любой выбранный период в виде наглядного графика (окончание см. на с. 120)

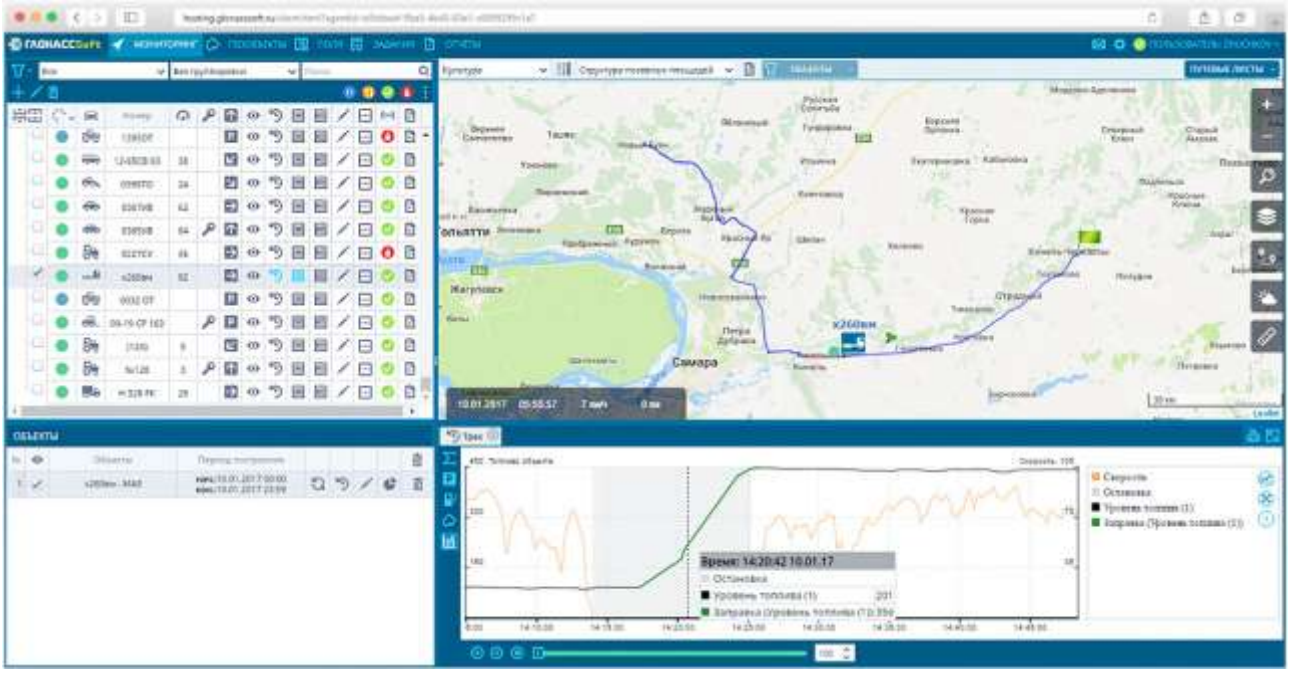


Рис. П.1. Окончание (начало см. на с. 119)

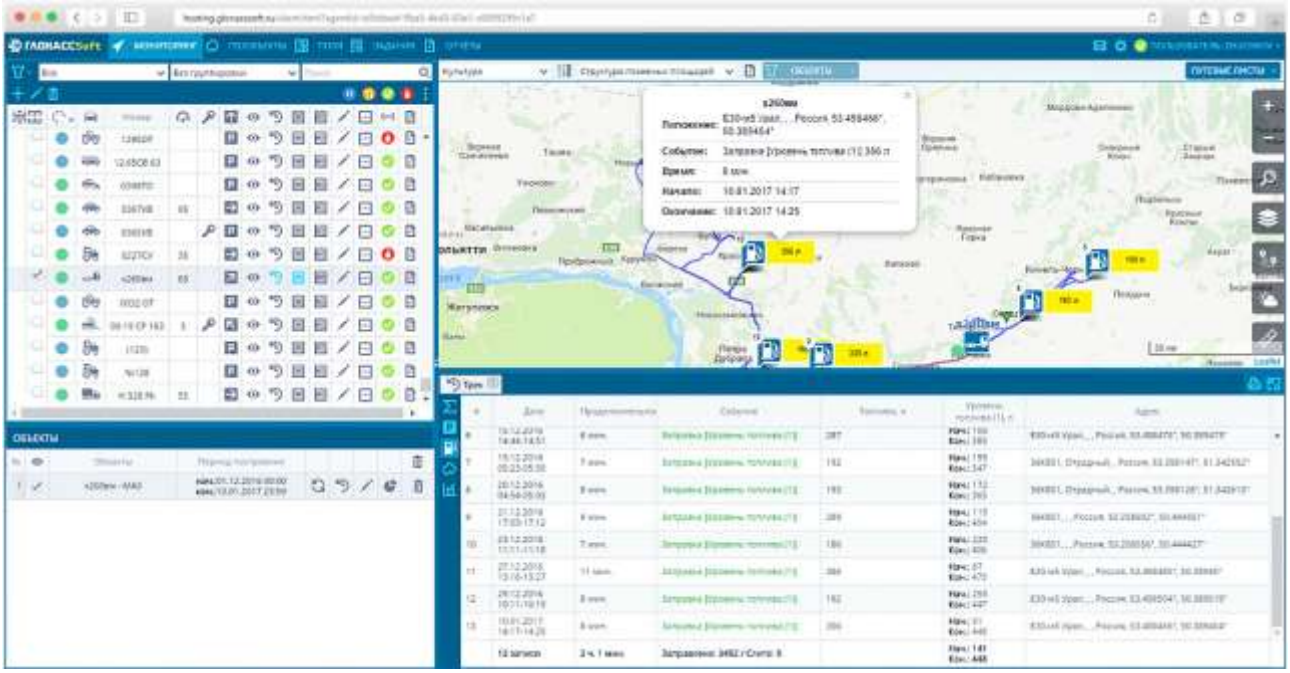


Рис. П.2. Пример отчета в табличном виде по заправкам и сливам с указанием даты, времени, местоположения, начального и конечного уровней топлива и объёмов заправок и сливов

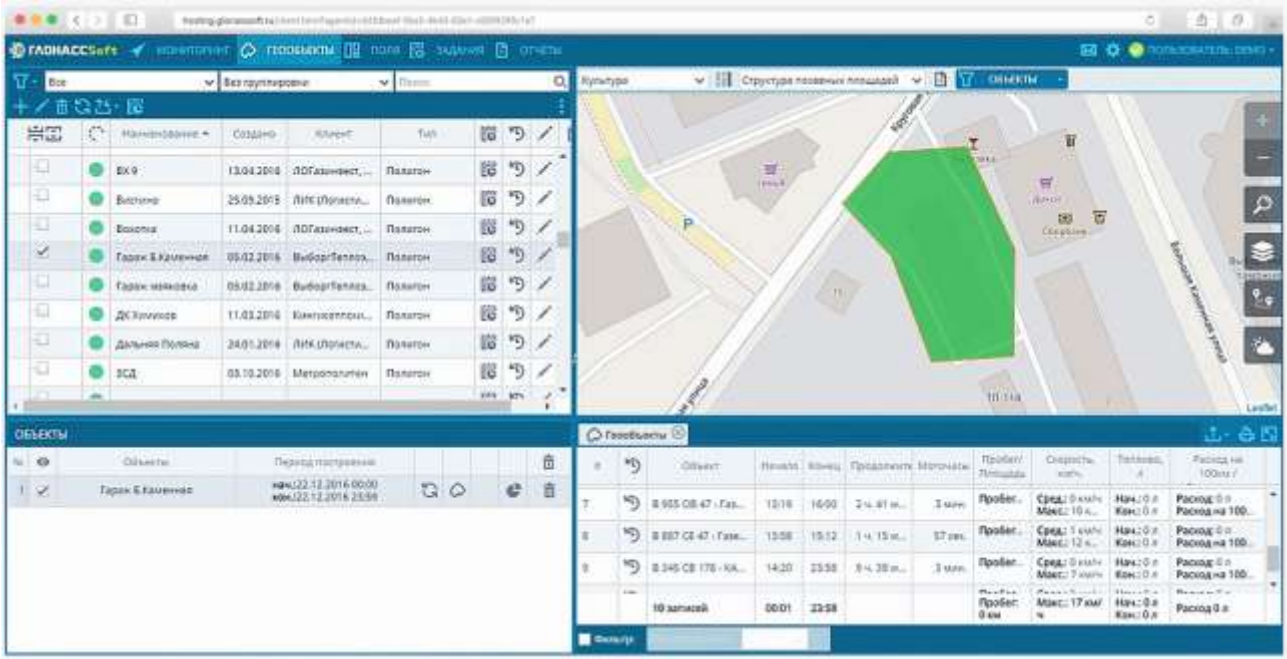


Рис. П.3. Пример геообъекта и сформированного по нему информативного отчета

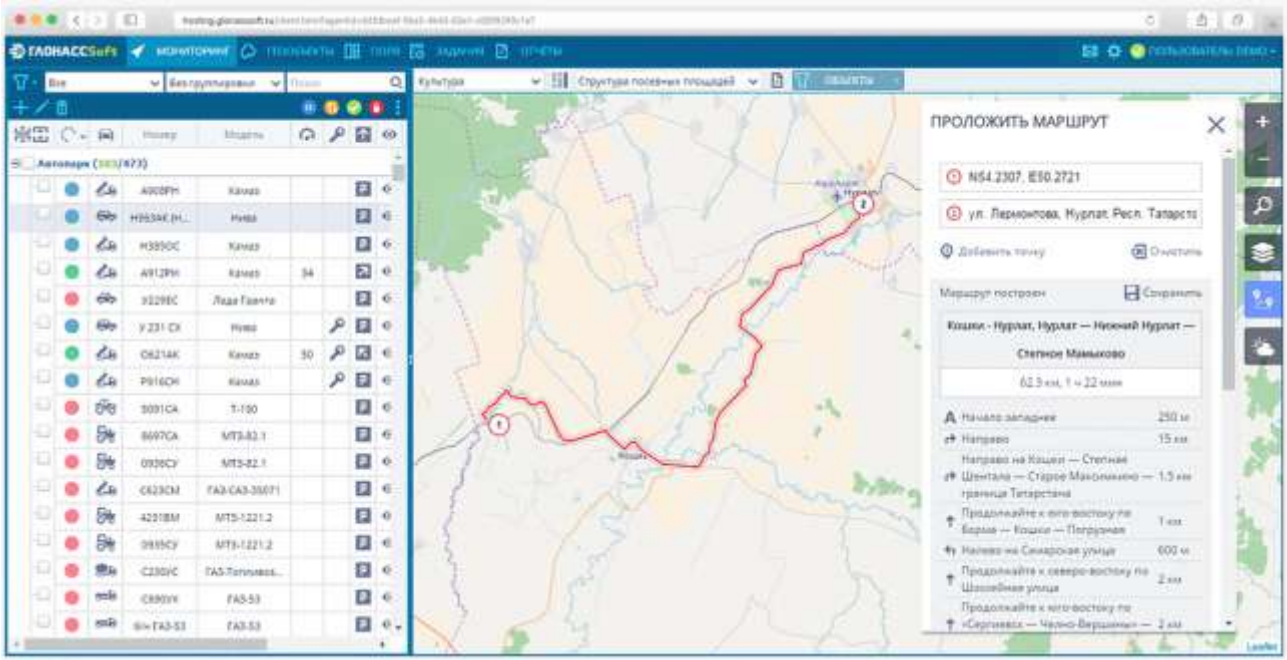


Рис. П.4. Пример построения маршрута движения транспортных средств с возможностью отслеживания их передвижения по установленной траектории

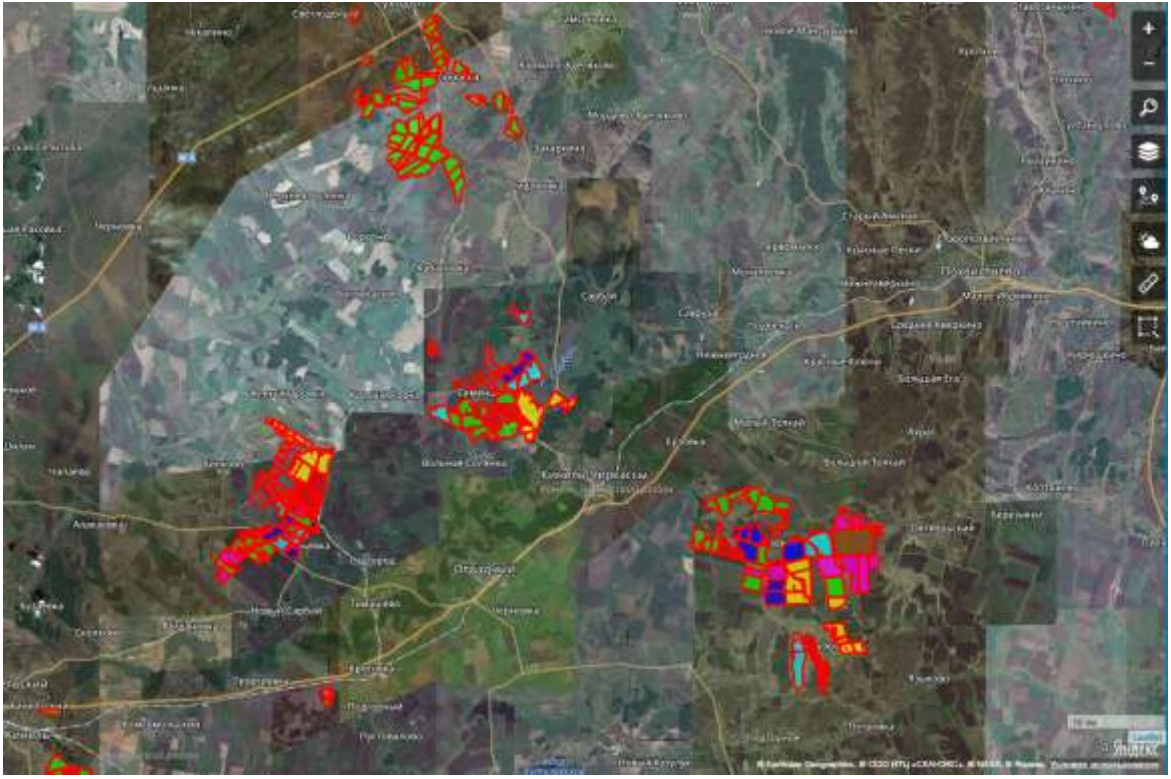


Рис. П.5. Примеры карт построения полей предприятия (продолжение и окончание см. на с. 125, 126 и 127)

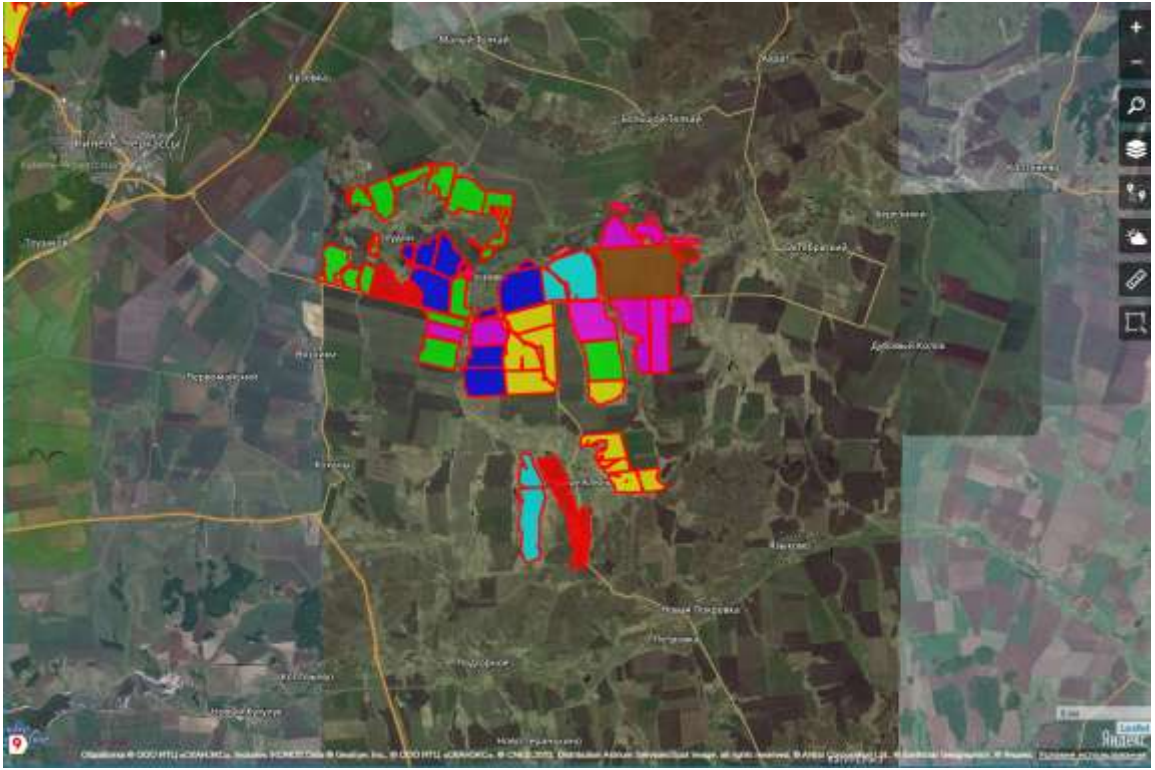


Рис. П.5. Продолжение (начало см. на с. 124, окончание – на с. 127)

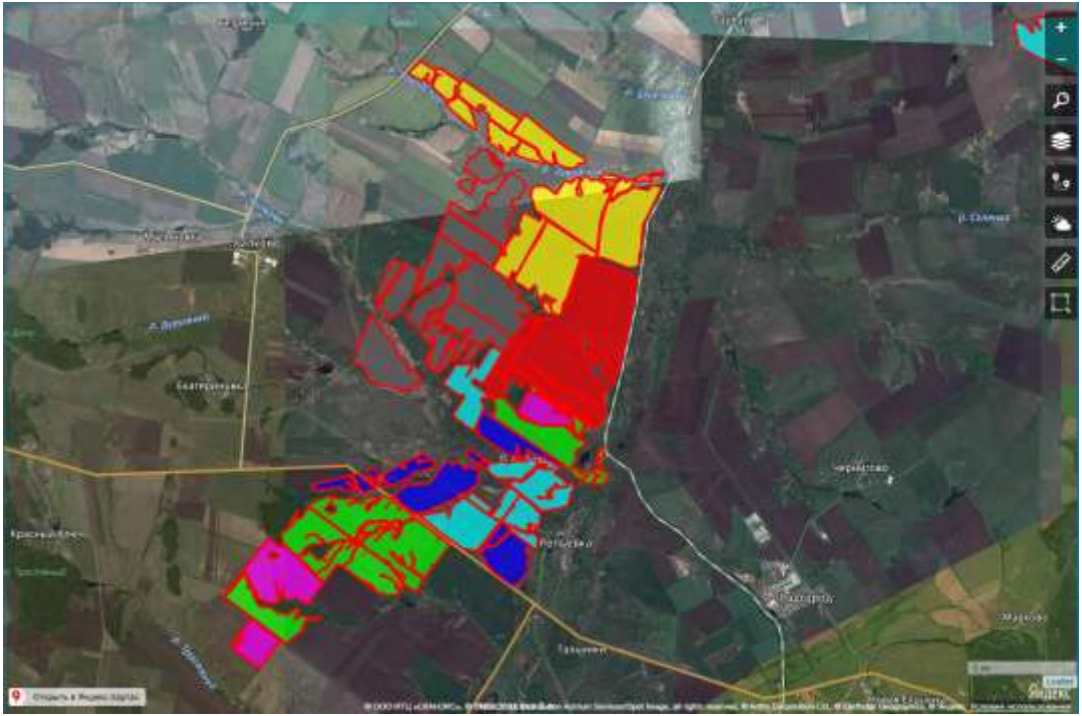


Рис. П.5. Продолжение (начало см. на с. 124, окончание – на с. 127)

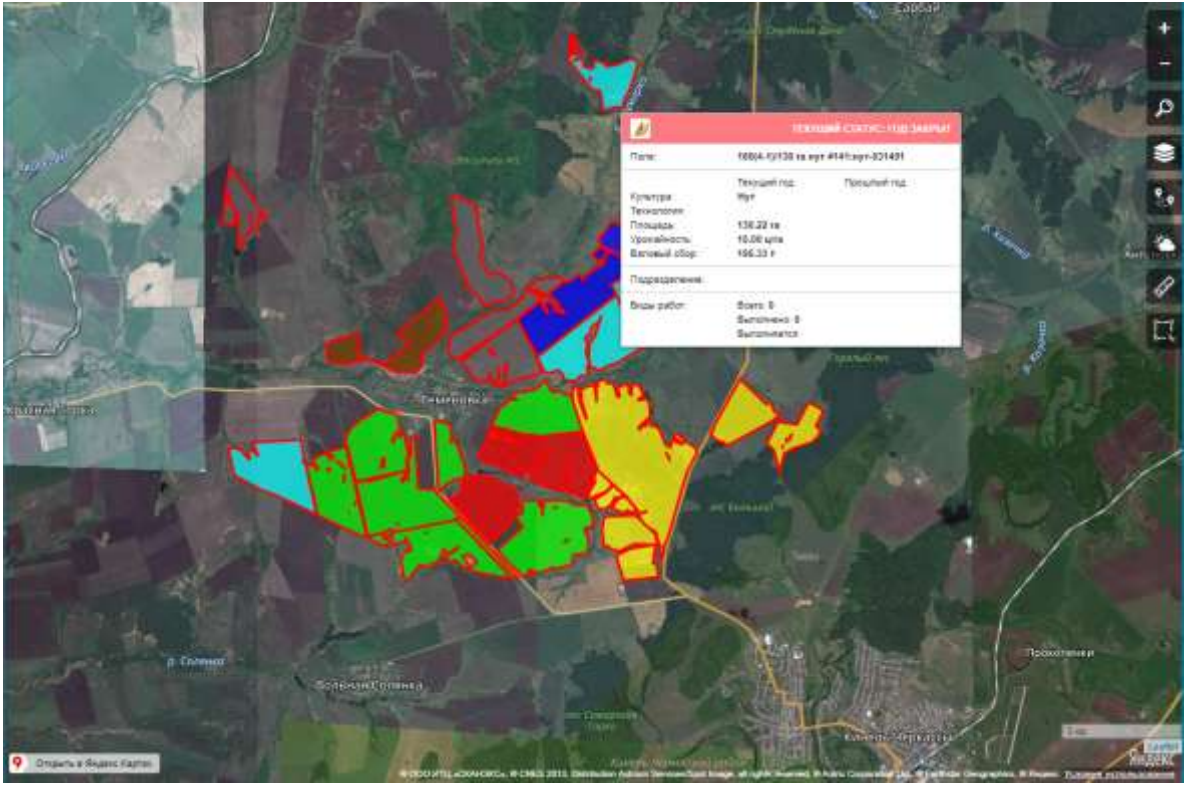


Рис. П.5. Окончание (начало см. на с. 124, 125, 126)

Рис. П.6. Пример трека перемещений объекта с указанием площади и вида культуры

Рис. П.7. Пример трека перемещений объекта с указанием геообъекта

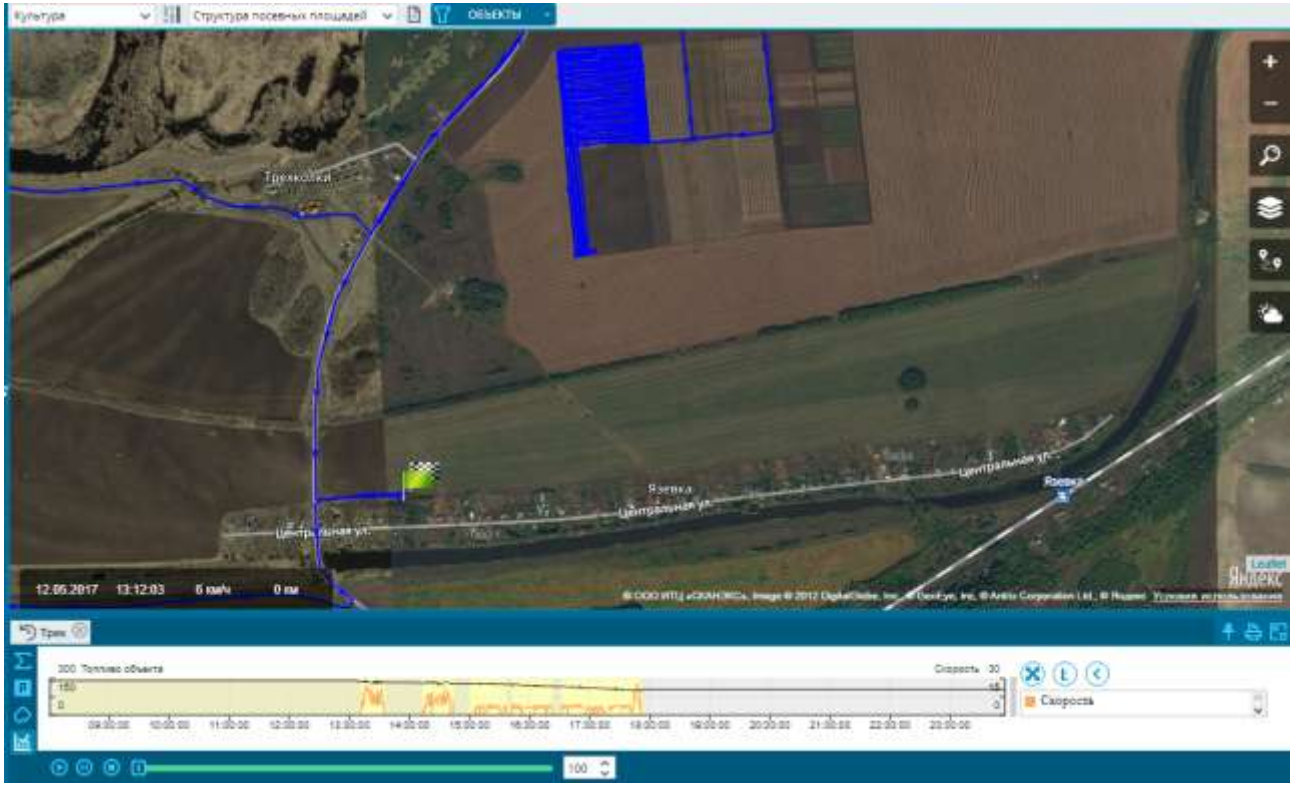


Рис. П.8. Пример трека перемещений объекта с указанием начала и окончания движения

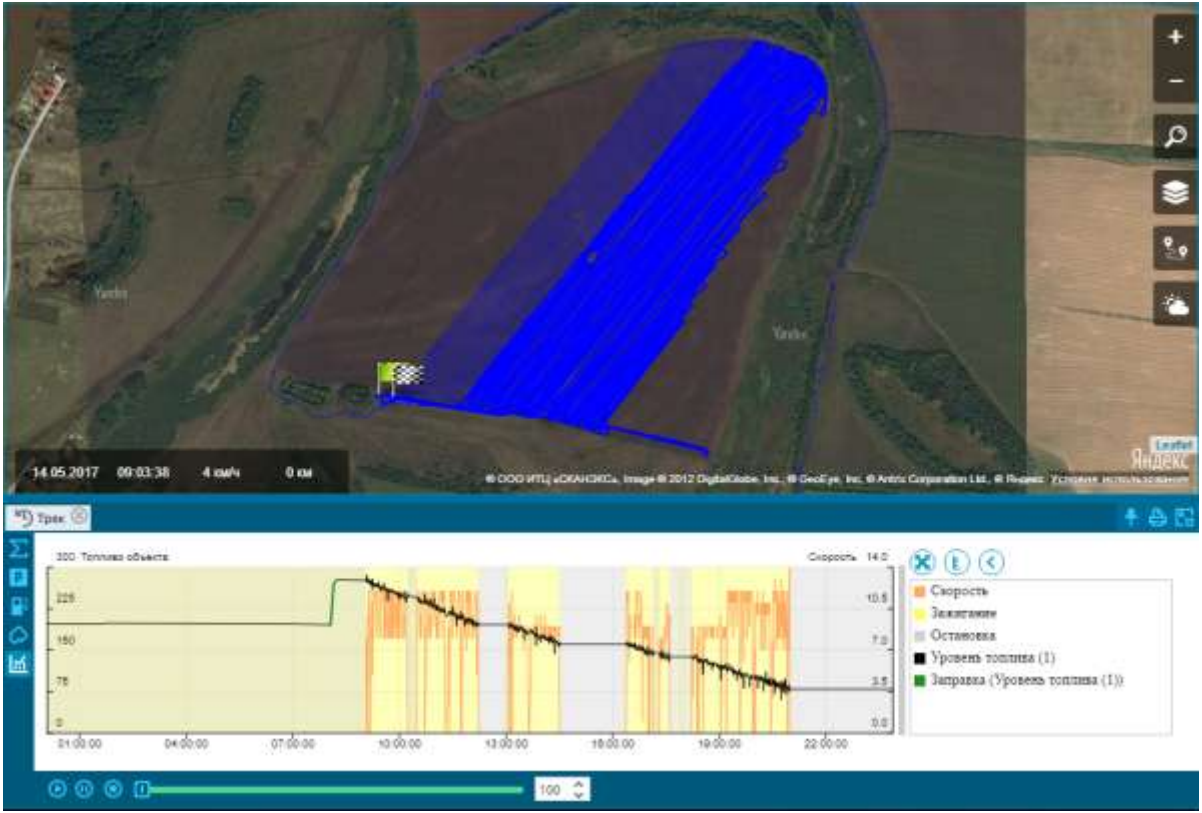


Рис. П.9. Пример отчета перемещений объекта

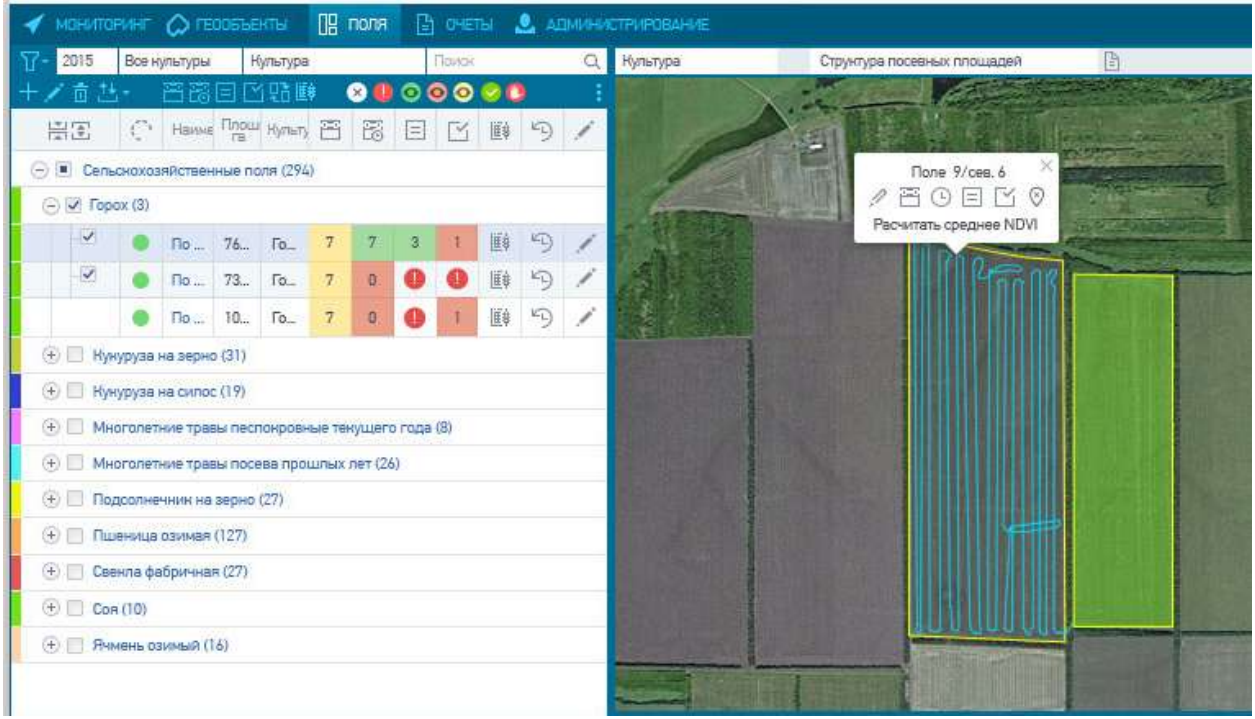


Рис. П.10. Пример работы с функциями годового, оперативного планирования и учета факта *(окончание см. на с. 133)*

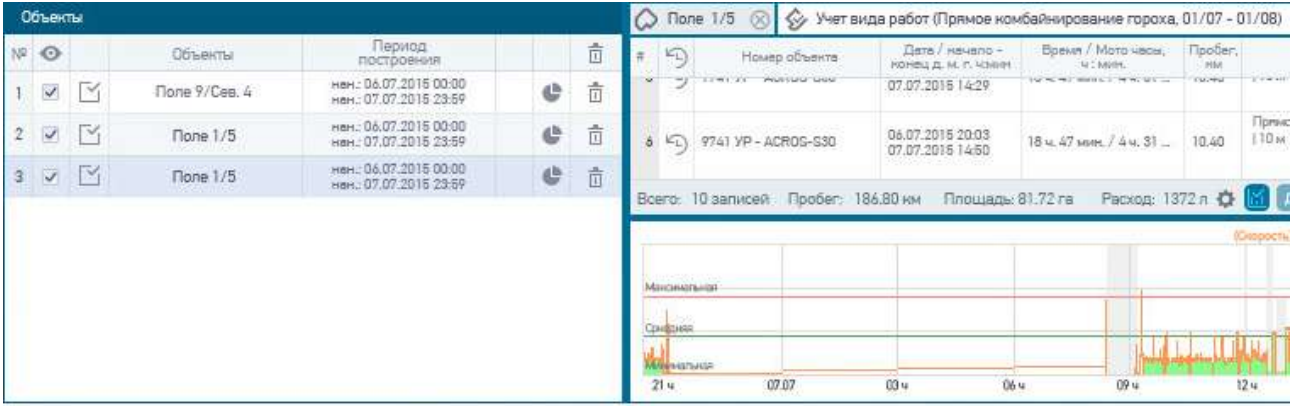


Рис. П.10. Окончание (начало см. на с. 132)

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Абонентский терминал УМКа300 : руководство по эксплуатации ВБРМ.004.000.000 РЭ. – Б. м. : ГЛОНАССсофт, 2018. – 94 с.
2. АгроТехнология 2.0 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://glonasssoft.ru/solutions/at2_0.
3. Валге, А. М. Мониторинг машинно-тракторных агрегатов с использованием спутниковых навигационных систем / А. М. Валге, Э. А. Папушин, И. Ф. Серзин // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2013. – № 84. – С. 28-36.
4. Васильев, А. Н. Использование инновационной технологии ГЛОНАСС в целях устойчивого развития сельской местности / А. Н. Васильев, В. В. Нейфельд // ГЛОНАСС – регионам : мат. 3-й Всероссийской науч.-практ. конф. – Орел : ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2013. – С.40-43.
5. Васильев, С. И. СВЧ-влагомер / С. И. Васильев, С. С. Нугманов, Т. С. Гриднева // Сельский механизатор. – 2014. – №11. – С. 26-27.
6. Васильев, С. И. Электротехника и электроника : практикум. Ч. 1. Линейные электрические цепи / С. И. Васильев, И. В. Юдаев. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2016. – 133 с.
7. Васильев, С. И. Электротехника и электроника : учебное пособие / С. И. Васильев, И. В. Юдаев, С. В. Машков. – Кинель : РИО СГСХА, 2017. – 252 с.
8. Гриднева, Т. С. Автоматика : практикум / Т. С. Гриднева, С. С. Нугманов, С. В. Машков, П. В. Крючин. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2016. – 108 с.
9. Гриднева, Т. С. Электроснабжение : практикум. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2015. – 111 с.
10. Датчик уровня топлива «Эскорт-ТД» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://t-a-e.ru/system_gps/1030/.
11. Завражнов, А. И. Практикум по точному земледелию / А. И. Завражнов, М. М. Константинов, А. П. Ловчиков [и др.]. – СПб. : Лань, 2015. – 224 с.
12. Кузнецов, М. А. Релейная защита : практикум / М. А. Кузнецов, П. В. Крючин, М. Р. Фатхутдинов. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2015. – 110 с.
13. Машков, С. В. Использование инновационных технологий координатного (точного) земледелия в сельском хозяйстве Самарской области : монография / С. В. Машков, В. А. Прокопенко, М. Р. Фатхутдинов [и др.]. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2016. – 200 с.

14. Машков, С. В. Светотехника и электротехнология : учебное пособие / С. В. Машков, И. В. Юдаев, А. А. Гашенко, П. В. Крючин. – Кинель : РИО СГСХА, 2017. – 120 с

15. Меньшаев, Р. А. Анализ показателей и устройств для картографирования полей / Р. А Меньшаев, С. А. Подымов, Т. С. Гриднева // Вклад молодых ученых в аграрную науку : мат. Международной науч.-практ. конф. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2015. – С. 227-231.

16. Нугманов, С. С. Методы и технические средства для измерения твердости почвы в координатном земледелии : монография / С. С. Нугманов, С. И. Васильев, Т. С. Гриднева. – Самара, 2009. – 168 с.

17. Нугманов, С. С. Новые устройства для агрооценки почвы / С. С. Нугманов, С. И. Васильев, А. В. Иваськевич, Т. С. Гриднева // Сельский механизатор. – 2011. – № 11. – С. 10-11.

18. Нугманов, С. С. Определение показателей состояния почвы в точном земледелии / С. С. Нугманов, С. И. Васильев, А. В. Иваськевич, Т. С. Гриднева // Роль молодых ученых в реализации национального проекта «Развитие АПК» : сб. мат. Международной науч.-практ. конф. МГАУ им. В. П. Горячкина. – М., 2007. – С. 67-70.

19. Паштецкий, В. С. Использование спутниковых сервисов для сельскохозяйственного мониторинга / В. С. Паштецкий, Е. А. Дунаева // Таврический вестник аграрной науки. – 2017. – №3 (11). – С. 117-123.

20. Применение ГИС для обеспечения технологии «точного земледелия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gisinfo.ru/item/65.htm.

21. Спутниковый мониторинг объектов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://glonasssoft.ru/.

22. Тарасов, С. Н. Электрические машины : практикум / С. Н. Тарасов, Т. С. Гриднева. – Кинель : РИО СГСХА, 2016. – 98 с.

23. Трясцин, А. П. Обучение инженерных кадров автотранспортных предприятий инновационным технологиям на основе ГЛОНАСС/GPS / А. П. Трясцин, А. Н. Новиков // ГЛОНАСС – регионам : мат. 3-й Всероссийской науч.-практ. конф. – Орел : ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2013. – С. 86-87.

24. Туркин, А. В. Комплексные решения для агропромышленного сектора // ГЛОНАСС – регионам : мат. 3-й Всероссийской науч.-практ. конф. – Орел : ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2013. – С. 63-64.

АЛФАВИТНО-ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

R

RFID-считыватель · 18, 19

А

Абонентский терминал на платформе УМКа300 · 10
Агроскаутинг · 92, 139
«АгроТехнология 2.0». · 2, 3, 9, 47, 52
Адрес · 13, 21, 27, 112
Аналоговый режим · 14

В

Веб-интерфейс · 6
Видеорегистратор · 16
Виды работ · 25, 65, 71, 78, 79
Вкладка
«Журнал актов об использовании удобрений» · 96
«Журнал путевых листов» · 39, 40
«Журнал работ на полях» · 94
«Мониторинг» · 25
«Объекты» · 97
«Отчеты» · 97, 113
«Предварительный просмотр» · 114
«Реестр полей» · 93
«Справочники» · 23, 64
«Мониторинг» · 26

Г

Гарнитура голосовой связи · 14
Геозона · 27, 41, 115
Геообъект · 8, 43, 44, 45

Д

Данные отчета · 99, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 111
Датчик уровня топлива «Эскорт ТД-500» · 12
Дерево полей · 57, 89, 106, 107, 109
Дополнительное оборудование. · 50

И

Импорт полей · 60
Индикатор зажигания · 29
Интерфейс «Учет факта» · 83
История активности объектов · 32

К

Камера видеонаблюдения · 15
Карта · 57
Конструктор отчетов · 113, 114, 139
Курс · 30

М

Меню «Геообъекты» · 41
Модели агрегатов · 25
Модель объекта · 29
Мониторинг · 4, 5, 6, 25, 50, 51, 135

Н

Ниспадающее меню

«Группировка» · 26
отбора объектов по их статусу · 26

О

Окно
«Годовой план» · 87
«График» · 88
«Журнал заданий» · 91
«Карточка редактирования задания» · 89
«Работы на поле» · 84
«Текущие технологические операции» · 87
«Технологическая операция» · 73
маршрутов» · 33
поиска по полю *«Номер»* · 26
принятия решения · 88
Основное оборудование · 10, 50
Отчет
«Анализ севооборота» · 106
«Выработка комбайнов» · 104
«Нарушения» · 101
«План работы на полях» · 107
«Простои» · 111
«Работа вне геообъектов» · 99
«Работы на поле» · 100
«Реестр выгрузки зерна» · 112
«Рейтинг полей» · 109
«Структура посевных площадей» · 107
«Эффективность использования техники». · 103
посещения геообъекта · 43

П

Панель инструментов сортировки · 26
Параметр «Максимальная технологическая скорость» · 99
Периодический режим · 14
Плата расширения · 16, 17
Платформа «ГЛОНАССсофт» · 6
Поле «Совместимая модель объекта» · 65

Р

Радиометка УМКа100 · 19
Раздел
«Основное» · 41
«Отображение» · 42, 52
Расчет зарплаты · 40
Режим RS-485 · 13
Режим слежения · 31
Решения «ГЛОНАССсофт» · 7

С

Севооборот · 52, 78, 81, 82
Создание полей · 52
Список объектов · 26, 28
Справочник
«Агрегаты» · 69
«Виды работ» · 71
«Водители» · 68
«Единицы измерения» · 76
«Модели агрегатов» · 65
«Модели транспорта» · 64
«Подразделения» · 67
«Радиометки» · 67
«С/х культуры» · 69
«Семена» · 75
«Товарно-материальные ценности (ТМЦ)» · 74
«Удобрения» · 75
«Урожай» · 75
Статус · 27, 53

Т

Таблица истории активности · 34

Трекеры · 6

У

Устройство бесперебойного питания · 17

Ф

Фильтры · 55
Фотофиксация · 93
Функция
«Агроанализ» · 48
«Годовое планирование» · 47, 77, 78
«Мастер загрузки геообъектов» · 42
«Оперативное планирование» · 48, 81
«Учёт факта выполненных работ на полях» · 48

Ч

Частотный режим · 14

Э

Экспорт полей · 59

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие…….. 3
Введение……..... 4
1. Общие сведения о системе спутникового мониторинга объектов «ГЛОНАССсофт»…….. 6
2. Работа с программной платформой «ГЛОНАССсофт»……. 21
2.1. Начало работы…….. 21
2.2. Работа с вкладкой «Мониторинг» …….. 25
2.3. Работа с дополнительными вкладками «Путевые листы» и «Журнал путевых листов»……...……... 38
2.4. Работа с вкладкой «Геообъекты»…… 41
3. Работа в системе мониторинга «АгроТехнология 2.0» на основе платформы «ГЛОНАССсофт»…….. 46
3.1. Общие сведения о системе «АгроТехнология 2.0» и работе с web-приложением……. 46
3.2. Работа с вкладкой «Поля»…….. 52
3.3. Заполнение справочников…….. 64
3.4. Планирование и учет…… 77
3.4.1. Годовое планирование……. 77
3.4.2. Оперативное планирование……. 81
3.4.3. Учет работ……. 83
3.4.4. Постановка заданий механизаторам…....…….. 89
3.4.5. Агроскаутинг…….. 92
3.5. Дополнительные вкладки во вкладке «Поля»…….. 93
3.6. Работа с вкладкой «Отчеты»…….. 97
3.7. Работа с инструментом «Конструктор отчетов»…… 113
Приложение……..... 119
Рекомендуемая литература…….. 134
Алфавитно-предметный указатель…….. 136

Учебное издание

Гриднева Татьяна Сергеевна
Машков Сергей Владимирович
Крючин Павел Владимирович
Васильев Сергей Иванович
Криворотько Виталий Николаевич
Юренков Денис Викторович

Система мониторинга объектов ГЛОНАССсофт «АгроТехнология 2.0»

Учебное пособие

Подписано в печать 21.05.2018. Формат 60×841/16
Усл. печ. л. 8,14, печ. л. 8,75.
Тираж 500. Заказ №156.
Отпечатано с готового оригинал-макета в редакционно-издательском отделе
ФГБОУ ВО Самарской ГСХА
446442, Самарская область, г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2
E-mail: ssaariz@mail.ru

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Самарская государственная сельскохозяйственная академия»

Т. С. Гриднева
С. С. Нугманов

Энергосбережение в электроснабжении АПК

Практикум

Кинель 2018

УДК 621.31:621.32:658.262
ББК 40.76
Г83

Рецензенты:
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Автоматизированный электропривод» ФГБОУ ВО Ижевской ГСХА
Н. П. Кондратьева;
канд. техн. наук, доцент кафедры «Электротехника, электрооборудование и электроснабжение» ФГБОУ ВО Ижевской ГСХА
Т. А. Широбокова;
канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрификация и автоматизация АПК» ФГБОУ ВО Самарской ГСХА
С. И. Васильев

Гриднева, Т. С.
Г83 Энергосбережение в электроснабжении АПК : практикум / Т. С. Гриднева, С. С. Нугманов. – Кинель : РИО Самарской ГСХА, 2018. – 137 с.
ISBN 978-5-88575-549-8

В учебном пособии представлены материалы, необходимые для проведения практических работ при изучении дисциплины «Энергосбережение в электроснабжении АПК».

Учебное издание предназначено для обучающихся по направлению подготовки 35.04.06 Агроинженерия, профиль «Электрооборудование и электротехнологии в АПК». Издание может быть полезно инженерно-техническим работникам различных отраслей агропромышленного комплекса и энергетики.

УДК 621.31:631.32:658.262
ББК 40.76

ISBN 978-5-88575-549-8

© ФГБОУ ВО Самарская ГСХА, 2018
© Гриднева Т. С., Нугманов С. С., 2018

ПРЕДИСЛОВИЕ

Энергосбережение – это уменьшение потребления топлива, тепловой и электрической энергии за счет наиболее полного и рационального их использования. Энергосбережение имеет важное значение для экономики страны.

Цель учебного издания – ознакомить обучающихся с нормативными документами в области энергосбережения, методиками определения экономии электроэнергии в электрических сетях, в осветительных установках, при использовании электродвигателей и технологического оборудования, методикой проведения энергетических обследований, автоматизированными системами коммерческого учета электроэнергии.

Учебное издание предусматривает применение и закрепление ранее полученных знаний и формирование у студентов навыков расчета. Данный материал способствует качественному усвоению информации.

Учебное издание позволит сформировать у обучающихся следующие профессиональные компетенции:

– способность анализировать современные проблемы науки и производства в агроинженерии и вести поиск их решения;

– способность и готовность организовывать на предприятиях агропромышленного комплекса высокопроизводительное использование и надежную работу сложных технических систем для производства, хранения, транспортировки и первичной переработки продукции растениеводства и животноводства;

– способность и готовность рассчитывать и оценивать условия и последствия (в том числе экологические) принимаемых организационно-управленческих решений в области технического и энергетического обеспечения высокоточных технологий производства сельскохозяйственной продукции;

– способность и готовность организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу, вести поиск инновационных решений в инженерно-технической сфере АПК;

– способность к проектной деятельности на основе системного подхода, умение строить и использовать модели для описания и прогнозирования различных явлений, осуществлять их качественный и количественный анализ.

Практическая работа № 1

Изучение Федерального закона Российской Федерации «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности»

Цель работы: изучить основные положения Федерального закона Российской Федерации «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности».

27 ноября 2009 г. вступил в силу *Федеральный закон* от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» (Закон № 261-ФЗ), ставящий перед учреждениями задачи, связанные с обеспечением рационального использования энергетических ресурсов.

Законодательство об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, помимо закона № 261-ФЗ, состоит из других федеральных законов, принимаемых в соответствии с ними иных нормативных правовых актов Российской Федерации, а также законов и иных нормативных правовых актов субъектов Российской Федерации, муниципальных правовых актов в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

Правовое регулирование в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности основывается на следующих принципах:

1) эффективное и рациональное использование энергетических ресурсов;

2) поддержка и стимулирование энергосбережения и повышения энергетической эффективности;

3) системность и комплексность проведения мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности;

4) планирование энергосбережения и повышения энергетической эффективности;

5) использование энергетических ресурсов с учетом ресурсных, производственно-технологических, экологических и социальных условий.

Целью изучаемого Федерального закона является создание правовых, экономических и организационных основ стимулирования энергосбережения и повышения энергетической

эффективности. Действие Федерального закона распространяется на деятельность, связанную с использованием энергетических ресурсов.

Государственное регулирование в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности осуществляется путем установления:

1) требований к обороту отдельных товаров, функциональное назначение которых предполагает использование энергетических ресурсов;

2) запретов или ограничений производства и оборота в Российской Федерации товаров, имеющих низкую энергетическую эффективность, при условии наличия в обороте или введения в оборот аналогичных по цели использования товаров, имеющих высокую энергетическую эффективность, в количестве, удовлетворяющем спрос потребителей;

3) обязанности по учету используемых энергетических ресурсов;

4) требований энергетической эффективности зданий, строений, сооружений;

5) обязанности проведения обязательного энергетического обследования;

6) требований к проведению энергетического обследования и его результатам (п. 6 в ред. Федерального закона от 28.12.2013 № 399-ФЗ);

7) обязанности проведения мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в отношении общего имущества собственников помещений в многоквартирном доме;

8) требований энергетической эффективности товаров, работ, услуг для обеспечения государственных или муниципальных нужд (в ред. Федерального закона от 28.12.2013 № 396-ФЗ);

9) требований к региональным, муниципальным программам в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности;

10) требований к программам в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности организаций с участием государства или муниципального образования и организаций, осуществляющих регулируемые виды деятельности;

11) основ функционирования государственной информационной системы в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности;

12) обязанности распространения информации в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности;

13) обязанности реализации информационных программ и образовательных программ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности;

14) порядка исполнения обязанностей, предусмотренных настоящим Федеральным законом;

15) иных мер государственного регулирования в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности в соответствии с изучаемым Федеральным законом.

Основные положения ФЗ № 261 от 23.11.2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности».

- Запрет на энергонеэффективные товары.

Речь идет о введении запрета или полного ограничения производства, оборота товаров с высокой степенью энергопотребления, если на рынке есть энергетически эффективные товары-аналоги.

- Ограничение оборота ламп накаливания.

Запрет на импорт, выпуск и реализацию ламп накаливания мощностью 100 Вт и более. Муниципальным и государственным предприятиям запрещается закупать лампы накаливания в целях освещения.

- Требование маркировки товаров по классам энергоэффективности.

Это требование распространяется на бытовые приборы, перечень которых приведен в ФЗ № 261. Маркировке подлежит также компьютерная и оргтехника.

- Расчеты по приборам учета.

Требования по установке приборов учета распространяется как на юридических лиц (госучреждений), так и на собственников жилых домов (общедомовые и внутриквартирные, за исключением счетчиков на тепловую энергию).

- Требования энергоэффективности в отношении новых зданий, сооружений.

Каждое вновь вводимое в эксплуатацию здание, за исключением культовых зданий, объектов индивидуального строительства,

малых сооружений, должно соответствовать требованиям энергоэффективности. Также должны быть установлены приборы учета. Что касается новых многоквартирных домов, то застройщик должен определить класс энергоэффективности здания и указать эту информацию на фасаде дома.

- Обязательные энергетические обследования.

Законом установлен перечень предприятий, которые обязаны были пройти обязательное энергообследование до конца 2012 г., а затем проходить его не реже 1 раза в 5 лет.

- Требования к бюджетным учреждениям.

ФЗ № 261 об энергосбережении обязал все бюджетные предприятия с 2010 г. обеспечить сокращение энергопотребления не менее чем на 3 % ежегодно в течение 5 лет по отношению к показателям 2009 г.

- Программы по энергосбережению.

Программы по энергосбережению должны быть составлены всеми предприятиями с участием государства, муниципалитета, регулируемыми компаниями, а также муниципальными образованиями и регионами.

- Энергосервисные договоры.

Закон вводит понятие и порядок заключения энергосервисных контрактов, цель которых – помочь юридическим (физическим) лицам сэкономить энергоресурсы без инвестирования собственных средств. По контракту оплата производится из доли сэкономленных средств.

- Долгосрочное тарифное регулирование.

Для повышения энергоэффективности предприятий коммунального комплекса, естественных монополий предполагается применить долгосрочный способ тарифного регулирования – от 3-х лет и более.

- Формы господдержки в области энергосбережения и повышения энергоэффективности.

ФЗ № 261 устанавливает такие формы поддержки, как:

- налоговые льготы (инвестиционный налоговый кредит, возмещение процентов по кредиту на проекты по энергосбережению);

- предоставление субсидий на лучшие энергосберегающие программы на уровне муниципалитета, регионов.

Таким образом, требования закона об энергосбережении призваны обеспечить энергосбережение во всех отраслях жизнедеятельности человека, что должно привести к значительному сокращению энергопотребления в стране.

Задание 1. Ознакомиться с основными понятиями, используемыми в изучаемом Федеральном законе. Выписать понятия, которые могут относиться к сфере электроснабжения.

Задание 2. Изучить Федеральный закон Российской Федерации «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности», представить его структуру в виде схемы, выделив главы и статьи.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные принципы, изложенные в законе № 261-ФЗ.
2. Что понимается под энергосбережением?
3. Что означает термин «Энергетическая эффективность»?
4. На какие бытовые приборы распространяется требование маркировки по классам энергоэффективности?
5. Какие ограничения, согласно закону № 261-ФЗ, планировались по использованию ламп накаливания?

Практическая работа № 2

Изучение Государственной программы Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года»

Цель работы: изучить основные положения Государственной программы Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года».

Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» (далее – Программа) утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2010 г.

Программа включает следующие подпрограммы:

- «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в электроэнергетике»;
- «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в теплоснабжении и системах коммунальной инфраструктуры»;
- «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в промышленности»;
- «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в сельском хозяйстве»;
- «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на транспорте»;
- «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в государственных (муниципальных) учреждениях и сфере оказания услуг»;
- «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в жилищном фонде»;
- «Стимулирование энергосбережения и повышения энергетической эффективности в субъектах Российской Федерации»;
- «Методическое, информационное и кадровое обеспечение мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности».

Цели Программы – снижение за счет реализации мероприятий

Программы энергоемкости валового внутреннего продукта Российской Федерации на 13,5 %, что в совокупности с другими факторами позволит обеспечить решение задачи по снижению энергоемкости валового внутреннего продукта на 40 % к 2020 г.; формирование в России энергоэффективного общества.

Задачи Программы:

- существенное снижение доли энергетических издержек, снижение нагрузки по оплате услуг энергоснабжения на бюджетную систему и обеспечение повышения конкурентоспособности и финансовой устойчивости российской экономики, обеспечение населения качественными энергетическими услугами по доступным ценам;
- снижение выбросов парниковых газов, а также вредных выбросов и укрепление на этой основе здоровья населения;
- формирование целостной и эффективной системы управления энергосбережением и повышением энергетической эффективности на основе комплексного развития инфраструктуры, обучения и повышения квалификации руководителей и специалистов, занятых в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- пропаганда и внедрение системы энергетического менеджмента;
- совершенствование нормативной правовой базы для активизации государственно-частного партнерства и привлечения частных инвестиций для реализации проектов в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- реализация механизмов, стимулирующих энергосбережение и повышение энергетической эффективности, обеспечивающих активизацию деятельности как населения, так и бизнеса по реализации потенциала энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- повышение объемов внедрения разработок российских научных организаций и высших учебных заведений, а также продукции российских производителей при реализации проектов в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- сохранение и расширение потенциала экспорта энергетических ресурсов и доходной части федерального бюджета за счет

сокращения неэффективного потребления энергии на внутреннем рынке;

- подготовка кадров в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

Основными макроэкономическими показателями по итогам реализации Программы являются:

- обеспечение снижения энергоемкости валового внутреннего продукта за счет реализации мероприятий Программы не менее чем на 13,5 %;
- обеспечение годовой экономии первичной энергии за счет реализации мероприятий Программы в размере не менее 195 млн. т условного топлива;
- обеспечение суммарной экономии энергии в размере 1124 млн. т условного топлива за весь срок реализации Программы.

Срок и этапы реализации Программы – 2011-2020 гг., в том числе:

- I этап – 2011-2015 гг.;
- II этап – 2016-2020 гг.

Объемы и источники финансирования Программы (средства федерального бюджета, средства бюджетов субъектов Российской Федерации, средства внебюджетных источников) уточняются при формировании федерального бюджета на соответствующий период (этап) бюджетного планирования.

Программа направлена на обеспечение повышения конкурентоспособности, финансовой устойчивости, энергетической и экологической безопасности российской экономики, а также роста уровня и качества жизни населения за счет реализации потенциала энергосбережения и повышения энергетической эффективности на основе модернизации, технологического развития и перехода к рациональному и экологически ответственному использованию энергетических ресурсов.

Энергоемкость валового внутреннего продукта России в 2,5 раза выше среднемирового уровня и в 2,5-3,5 раза выше, чем в развитых странах. Более 90 % мощностей действующих электростанций, 83 % жилых зданий, 70 % котельных, 70 % технологического оборудования электрических сетей и 66 % тепловых сетей было построено еще до 1990 года. Около четверти используемых

в настоящее время бытовых холодильников было приобретено более 20 лет назад. В промышленности эксплуатируется 15 % полностью изношенных основных фондов.

Российская Федерация располагает одним из самых больших в мире технических потенциалов энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Оценка потенциала повышения эффективности использования энергии в Российской Федерации по состоянию на 2007 г. приведена в приложении № 1 к Государственной программе Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года». Потенциал составляет более 40 % уровня потребления энергии, приведенного в приложении № 2. В абсолютных объемах этот потенциал составлял 403 млн. т условного топлива, с учетом сокращения сжигания попутного газа в факелах – 420 млн. т условного топлива.

Показатели, определяющие социально-экономическую и экологическую эффективность Программы, приведены в приложениях к ней № 4 и 5.

В Программе также предусмотрены мероприятия по выведению из эксплуатации старых неэффективных мощностей, оборудования, установок, внедрению инновационных технологий и нового прогрессивного оборудования во всех отраслях российской экономики и социальной сфере в процессе нового строительства и модернизации.

Перечень мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, предлагаемых для различных отраслей экономики, с указанием сроков их реализации и ожидаемых результатов приведен в приложениях Программы № 6 и 7.

Основные меры по совершенствованию правового регулирования в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, направленные на достижение цели и решение задач Программы, приведены в приложении к ней № 8.

Требования к порядку и условиям предоставления субсидий из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации на реализацию региональных программ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности приведены в приложении Программы № 9.

Требования к порядку и условиям предоставления государственных гарантий Российской Федерации по кредитам на

реализацию проектов в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, привлекаемым организациями, приведены в приложении № 10.

Объемы финансирования мероприятий и их распределение между ответственным исполнителем и соисполнителями Программы приведены соответственно в приложениях № 11 и 12.

Подпрограмма «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в электроэнергетике».

Основные организационные мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в электроэнергетике охватывают:

- внедрение систем мониторинга энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- обучение и повышение квалификации руководителей и специалистов в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- разработку и внедрение системы энергетического менеджмента.

Предусматривается осуществление технических мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности на конденсационных электростанциях на газе и твердом топливе, теплоэлектроцентралях.

При техническом перевооружении действующих электростанций производится:

- вывод из эксплуатации неэкономичного, выработавшего моральный и физический ресурс паросилового оборудования газовых тепловых электростанций и замещение его новыми установками с использованием газотурбинных и парогазовых технологий, модернизация и реконструкция действующих конденсационных и теплофикационных установок и станций с использованием современного энергоэффективного оборудования;
- вывод из эксплуатации морально и физически устаревшего оборудования с низкими параметрами пара угольных тепловых электростанций, замещение его новыми установками с использованием эффективных экологически чистых угольных технологий, модернизация и реконструкция действующих конденсационных и теплофикационных агрегатов с целью повышения их энергетической эффективности.

Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в электроэнергетике также связаны с необходимостью вывода из эксплуатации дизельных электростанций, выработавших ресурс, строительства новых дизельных электростанций с использованием современных технологий (в условиях укрупнения и консолидирования поселков, их частичного закрытия, развития сетевого хозяйства), модернизации дизельных электростанций с использованием современного энергоэффективного оборудования.

Реализация мероприятий подпрограммы обеспечит снижение среднего эксплуатационного удельного расхода топлива на отпуск электроэнергии от тепловых электростанций до 300 г у.т/кВт·ч в 2020 г.

В электросетевом хозяйстве выполняется повышение технического уровня, расширение освоения и внедрения в Единой энергетической системе России новых энергоэффективных инновационных технологий, разработка на их основе проектных решений.

Основные технические мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в электросетевом хозяйстве направлены на снижение потерь электроэнергии и совершенствование системы коммерческого и технического учета электроэнергии в электрических сетях и у потребителей. Технические мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в электроэнергетике приведены в приложениях № 6 и 7 Программы.

Выполняются крупномасштабные работы по реконструкции электрических сетей с целью повышения их надежности и эффективности.

Реализация мероприятий подпрограммы должна обеспечить снижение потерь в электрических сетях до 8-9 % в 2020 г.

Задание 1. Ознакомиться с Государственной программой Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года». Особое внимание уделить изучению Подпрограммы «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в электроэнергетике».

Задание 2. Заполнить таблицу 2.1 согласно данным приложения № 6 к Государственной программе Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года».

Таблица 2.1

График реализации технических мероприятий Государственной программы «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года»

№ мероприятия	Наименование мероприятия	Единица измерения	Показатель (за весь период)
I. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности при производстве электроэнергии.			
1.			
II. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности при передаче электроэнергии.			
2.			
…			
15.			

Задание 3. Заполнить таблицу 2.2 согласно данным приложения № 7 к Государственной программе Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года».

Таблица 2.2

Экономия первичной энергии за счет реализации мероприятий государственной программы «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года»

№ мероприятия	Наименование мероприятия	Координирующее ведомство	Показатель (за весь период)
I. Подпрограмма «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в электроэнергетике».			
1.			
2.			
Всего по подпрограмме			

Контрольные вопросы

1. Перечислите организационные мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в электроэнергетике.
2. Какие мероприятия направлены на энергосбережение и повышение энергетической эффективности при передаче электроэнергии?
3. Какие мероприятия направлены на энергосбережение и повышение энергетической эффективности при производстве электроэнергии?
4. Какие мероприятия должны производиться при техническом перевооружении действующих электростанций?
5. Перечислите основные технические мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в электросетевом хозяйстве.

Практическая работа № 3

Экономия электроэнергии в электрических сетях

Цель работы: изучить основные мероприятия по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях, ознакомиться с методиками определения экономии электроэнергии при выполнении данных мероприятий.

Все электроустановки, составляющие систему электроснабжения, в том числе электрические линии и трансформаторы, характеризуются активными сопротивлениями. Поэтому при передаче, распределении и преобразовании электрической энергии происходят ее *потери*, которые называют *технологическими*.

Подавляющая часть *потерь электроэнергии* в сельских сетях приходится на электрические линии и трансформаторы, и обычно в практических расчетах учитывают потери только в этих элементах сетей. Потери энергии в проводах, кабелях и обмотках трансформаторов пропорциональны квадрату протекающего по ним тока нагрузки, и поэтому их называют *нагрузочными* потерями. Ток нагрузки, как правило, изменяется во времени, и нагрузочные потери часто называют переменными.

По мере роста нагрузок и присоединения к электрической сети новых потребителей в ней возрастают потери электрической энергии. На предприятиях электрических сетей систематически рассчитывают потери мощности и энергии, и на основе этих расчетов в необходимых случаях проводят мероприятия по снижению потерь.

При постоянной нагрузке технологические потери электроэнергии в электрической сети за определенное время t, определились бы по формуле:

$$\Delta W = \Delta P t, \text{кВт} \cdot \text{ч}, \qquad (3.1)$$

где ΔP – потери активной мощности, кВт;

t – интервал времени, ч.

Однако, на самом деле нагрузка в течение суток и в течение года изменяется, и точное определение потерь усложняется. Поэтому используется приближенный, но достаточно точный метод вычисления потерь электроэнергии с использованием времени наибольших потерь:

$$\Delta W = \Delta P_{\text{нб}} \tau, \text{кВт} \cdot \text{ч}, \quad (3.2)$$

где $\Delta P_{\text{нб}}$ – наибольшие (максимальные) потери активной мощности в электрической сети, кВт;

τ – время потерь (время, за которое при работе с наибольшей нагрузкой потери электроэнергии были бы те же, что и при работе по действительному графику нагрузки), ч.

Для сельскохозяйственных потребителей при *времени использования максимума нагрузки* T=2300...4500 ч/год время потерь может быть вычислено по формуле:

$$\tau = 0{,}69T - 584, \text{ч}. \quad (3.3)$$

При меньших значениях времени использования максимума нагрузки T время потерь рекомендуется определять по следующей формуле:

$$\tau = (0{,}124 + T \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760, \text{ч}. \quad (3.4)$$

Потери активной мощности в электрической сети могут быть определены по закону Джоуля-Ленца:

$$\Delta P_{\text{нб}} = \frac{P_{max}^2 R}{U^2} \cos^2\varphi, \text{кВт}, \quad (3.5)$$

где P_{max} – значение максимальной активной мощности, передаваемой по сети, кВт;

R – значение активного сопротивления проводника, по которому передается мощность, Ом;

U – напряжение сети, при котором передается мощность, В;

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности.

Анализ последнего выражения позволяет наметить вероятные *мероприятия по снижению потерь* мощности на этапе проектирования или при реконструкции.

Различают *организационные* мероприятия, мероприятия по совершенствованию систем учета электроэнергии, а также *технические*.

Основные организационные мероприятия по снижению потерь:

- выбор оптимальных мест размыкания воздушных линий (ВЛ) напряжением 10...35 кВ с двухсторонним питанием;
- поддержание оптимальных уровней напряжения на шинах 10 кВ районных трансформаторных подстанций (РТП)

110...35/10 кВ и на шинах 0,38 кВ трансформаторных подстанций или пунктов (ТП) 10/0,4 кВ;

- отключение одного из трансформаторов в режимах малых нагрузок на двухтрансформаторных подстанциях, а также трансформаторов на подстанциях с сезонной нагрузкой;
- выравнивание нагрузок фаз в сетях напряжением 0,38 кВ;
- сокращение сроков ремонта и технического обслуживания (ТО) линий, трансформаторов и распределительных устройств;
- снижение расхода энергии на собственные нужды подстанций.

Организационные мероприятия, а также мероприятия по совершенствованию систем учета электроэнергии, как правило, не требуют значительных первоначальных затрат, и поэтому их проводить всегда целесообразно.

Технические мероприятия связаны с дополнительными капитальными вложениями.

К основным техническим мероприятиям относят:

- установку в сетях статических конденсаторов, в том числе батарей с автоматическим регулированием мощности;
- установку на РТП 110...35/10 кВ трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой (РПН);
- замену недогруженных и перегруженных трансформаторов на потребительских ТП;
- повышение пропускной способности сетей путем строительства новых линий и подстанций;
- замену проводов на перегруженных линиях, в том числе ответвлений от ВЛ напряжением 0,38 кВ к зданиям;
- перевод электрических сетей на более высокое номинальное напряжение.

Установка на подстанциях 110...35/10 кВ трансформаторов с РПН необходима не только для снижения потерь энергии, но и для соблюдения у потребителей нормированных отклонений напряжения.

Из-за несовпадения фактических и расчетных нагрузок некоторые трансформаторы эксплуатируемой сети могут быть недогружены, причем в дальнейшем рост нагрузки части этих трансформаторов маловероятен. В этом случае целесообразно заменить трансформатор на аппарат меньшей мощности. При этом снижаются потери холостого хода, но увеличиваются потери в обмотках

трансформатора. С учетом такого обстоятельства можно определить предельную загрузку установленного трансформатора, при которой целесообразна замена на трансформатор меньшей мощности.

Пропускную способность сетей повышают путем строительства новых линий и подстанций, а также замены проводов на перегруженных линиях в процессе развития сети по специальным проектам.

Перевод сельских электрических сетей на более высокое номинальное напряжение заключается лишь в переводе сохранившихся в отдельных районах сетей напряжением 6 кВ на напряжение 10 кВ.

При технико-экономической оценке технических мероприятий и выборе их очередности необходимо учитывать не только эффект от снижения потерь электроэнергии, но и сопутствующие эффекты, такие как, например, снижение ущерба, наносимого электропотребителям низким качеством электрической энергии по напряжению.

Экономическую целесообразность технических мероприятий оценивают по *приведенным затратам*. Оценку потерь мощности в электрической сети напряжением 0,38 кВ можно выполнить и по результатам измерений (или вычислений) потерь напряжения по формуле:

$$\Delta P, \% = \Delta U, \% \cdot K_{\text{св}}, \qquad (3.6)$$

где $\Delta P, \%$ – относительные потери мощности, $\Delta P, \% = \Delta P \cdot 100 / P_{\text{Н}}$;

$\Delta U, \%$ – относительные потери напряжения, $\Delta U, \% = \Delta U \cdot 100 / U$;

$K_{\text{св}}$ – коэффициент связи между $\Delta U, \%$ и $\Delta P, \%$ (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Значения $K_{\text{св}}$

$\cos\varphi$	Для ВЛ с сечением головного участка, мм^2					Для кабельных линий
	25	35	50	70	95	
0,6	1,96	1,75	1,52	1,28	1,07	2,75
0,7	1,55	1,41	1,25	1,08	0,92	2,04
0,8	1,27	1,18	1,07	0,94	0,83	1,56
0,9	0,99	0,99	0,95	0,87	0,78	0,25

Перевод воздушных линий на более высокую ступень номинального напряжения.

Перевод воздушных линий на более высокую ступень номинального напряжения является одним из самых эффективных мероприятий с точки зрения сокращения потерь мощности и энергии, однако, и одним из самых дорогих.

Экономия электроэнергии в сети при переводе ее на более высокий класс напряжения определяется по формуле:

$$\Delta W = 0{,}003\rho L t\left(\frac{I_1^2}{F_1} - \frac{I_2^2}{F_2}\right), \text{кВт} \cdot \text{ч}, \qquad (3.7)$$

где L – длина участка сети, на котором производится повышение номинального напряжения, м;

I_1, I_2 – среднее значение токов в каждом проводе сети, соответственно, при низшем и высшем напряжении, А;

ρ – удельное сопротивление материала провода при 20°С (для алюминия 0,026–0,029; для меди 0,0175–0,018, для стали 0,01–0,14 Ом·мм^2/м);

F_1 и F_2– соответственно, сечение проводов сети при низшем и высшем напряжении, мм^2;

t – расчетный период времени, ч.

В общем виде потери электроэнергии при различных номинальных напряжениях линии определяются выражением:

$$\Delta W = \Delta P\tau = \frac{S^2 r_0 l}{U^2}\tau, \text{кВт} \cdot \text{ч}. \qquad (3.8)$$

Перевод сети на более высокое напряжение экономически целесообразно применять для повышения пропускной способности линии, либо когда нагрузка достигла предельных значений. Снижение потерь электроэнергии в этом случае – сопутствующий эффект.

Замена проводов воздушных линий.

Экономия электроэнергии при проведении реконструкции сетей (замена сечения и материала проводов, сокращение длины линии без изменения напряжения), кВт·ч:

$$\Delta W = 0{,}003 I^2\left(\frac{\rho_1 L_1}{F_1} - \frac{\rho_2 L_2}{F_2}\right)t, \text{кВт} \cdot \text{ч}, \qquad (3.9)$$

где I – среднеквадратичное значение тока нагрузки одной фазы, А;

L_1, F_1, ρ_1, – соответственно, длина, м, сечение проводов, мм^2, удельное сопротивление материала провода, Ом·мм^2/м данного участка сети до реконструкции;

L_2, F_2, ρ_2 – соответственно, длина, м, сечение проводов, мм^2, удельное сопротивление материала провода, Ом·мм^2/м данного участка сети после реконструкции;

t – расчетный период времени, ч.

Установлено, что сокращение длины воздушных линий позволяет уменьшить потери энергии в 2…4 раза, а увеличение сечения проводов – в 1,3…2 раза.

Равномерное распределение нагрузки по фазам.

В результате несимметричного распределения нагрузки по фазам ток в нулевом проводе составляет 20…40 % фазного тока, и это приводит к дополнительным потерям. Необходимо не менее двух раз в год проверять нагрузку по фазам и перераспределять ее.

Годовые потери электроэнергии, вызванные несимметрией фазных токов, можно определить по формуле:

$$\Delta W = \Delta P \tau, \text{кВт} \cdot \text{ч}, \quad (3.10)$$

где ΔP – потери активной мощности при несимметричной нагрузке фаз, кВт.

Потери активной мощности при несимметричной нагрузке фаз:

$$\Delta P = 3 I_{\text{ср}}^2 r_{\text{ф}} K_{\Delta P}, \text{кВт}, \quad (3.11)$$

где $K_{\Delta P}$ – коэффициент, характеризующий изменение потерь активной мощности при несимметрии.

$$K_{\Delta P} = \frac{1}{3}\left[\left(\frac{I_A}{I_{\text{ср}}}\right)^2 + \left(\frac{I_B}{I_{\text{ср}}}\right)^2 + \left(\frac{I_C}{I_{\text{ср}}}\right)^2\right]\left(1 + 1{,}5\frac{r_0}{r_{\text{ф}}}\right) - 1{,}5\frac{r_0}{r_{\text{ф}}}, \quad (3.12)$$

где I_A, I_B, I_C – соответственно, значения фазных токов в трехфазной сети, А;

$I_{\text{ср}}$ – среднее значение фазных токов, А;

r_0, $r_{\text{ф}}$ – соответственно, сопротивление фазных и нулевого проводов, Ом.

$$I_{\text{ср}} = \frac{I_A + I_B + I_C}{3}, \text{А}. \quad (3.13)$$

Пример 3.1. Определить экономию электроэнергии от перевода сети с напряжения 6 кВ на 10 кВ, если по линии, выполненной проводом А35, протяженностью 11 км, передается нагрузка S=900 кВ·А при времени τ=3000 ч.

Решение. Снижение потерь электроэнергии при различных номинальных напряжениях линии можно определить выражением:

$$\Delta W = \Delta W_6 - \Delta W_{10}, \text{кВт} \cdot \text{ч}.$$

Тогда, согласно выражению (3.8):

$$\Delta W = \left(\frac{900^2 \cdot 0{,}83 \cdot 11}{6^2} - \frac{900^2 \cdot 0{,}83 \cdot 11}{10^2}\right) \cdot 3000 = \\ = 3{,}9 \cdot 10^5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Пример 3.2. Определить годовую экономию электроэнергии при замене сталеалюминиевых проводов сечением 25 мм^2 на провода сечением 50 мм^2, если токовая нагрузка участка сети составляет 85 А, протяженность участка сети 13 км.

Решение. Экономия электроэнергии при проведении реконструкции сети (от замены сечения проводов):

$$\Delta W = 0{,}003 \cdot 85^2 \left(\frac{0{,}029 \cdot 13}{25} - \frac{0{,}029 \cdot 13}{50}\right) \cdot 8760 = 143 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Пример 3.3. Определить годовую экономию электроэнергии после реконструкции объекта (замена алюминиевых проводов протяженностью 1380 м и сечением 2,5 мм^2 на медные). Ток нагрузки силовой сети составляет 11 А.

Решение. Экономия электроэнергии при проведении реконструкции сети (от замены материала проводов):

$$\Delta W = 0{,}003 \cdot 11^2 \left(\frac{0{,}029 \cdot 1380}{2{,}5} - \frac{0{,}0175 \cdot 1380}{2{,}5}\right) \cdot 8760 = \\ = 20185 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Пример 3.4. Воздушная линия длиной 300 м выполнена для временного электроснабжения площадки алюминиевым проводом с завышенным сечением 50 мм^2. В связи с изменением фронта работ была выявлена возможность сокращения длины линии до 125 м, а также использования провода меньшего сечения 25 мм^2.

Определить экономию электроэнергии за 6000 ч по результатам проведения реконструкции. Расчетный ток 90 А, $\rho = 0{,}029$ Ом·мм^2/м.

Решение.

$$\Delta W = 0{,}003 \cdot 90^2 \left(\frac{0{,}029 \cdot 300}{50} - \frac{0{,}029 \cdot 125}{25}\right) \cdot 6000 = \\ = 4228 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Пример 3.5. На вводе 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ в максимум нагрузки значения фазных токов составляют: I_A=60 А, I_B=80 А, I_C=110 А. Сопротивление фазных и нулевого проводов r=0,205 Ом. Определить годовые потери электроэнергии, вызванные несимметрией токов. Время наибольших потерь 2000 ч.

Решение. Определим среднее значение тока фаз:

$$I_{\text{ср}} = \frac{65 + 82 + 118}{3} = 88{,}3 \text{ А}.$$

Тогда коэффициент, характеризующий изменение потерь активной мощности при несимметрии, будет равен:

$$K_{\Delta P} = \frac{1}{3}\left[\left(\frac{65}{88{,}3}\right)^2 + \left(\frac{82}{88{,}3}\right)^2 + \left(\frac{118}{88{,}3}\right)^2\right](1 + 1{,}5) - 1{,}5 = 1{,}16.$$

Расчет показывает, что данная несимметрия фазных токов приводит к увеличению потерь активной мощности на 16 % по сравнению с симметричным режимом работы сети.

Потери активной мощности при несимметричной нагрузке фаз составят:

$$\Delta P = 3 \cdot 88{,}3^2 \cdot 0{,}205 \cdot 1{,}16 = 5532 \text{ Вт},$$

из которых 16 % (или $\Delta P_{\text{д}}$) являются дополнительными потерями активной мощности, вызванными несимметрией фазных токов.

Годовые потери электроэнергии, вызванные несимметрией фазных токов, составят:

$$\Delta W = 0{,}89 \cdot 2000 = 1780 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Задание 1. Определить экономию электроэнергии от перевода сети с напряжения 6 кВ на 10 кВ в линии, выполненной проводом марки АС35 протяженностью 12 км, при нагрузке 1050 кВ·А, время τ=3200 ч.

Задание 2. Определить годовую экономию электроэнергии при замене алюминиевых проводов сечением 25 мм^2 на сталеалюминиевые. Токовая нагрузка участка сети составляет 95 А, протяженность участка сети 10 км.

Задание 3. Определить стоимость экономии электроэнергии после замены алюминиевых проводов длиной 890 м и сечением 2,5 мм^2 на медные. Ток нагрузки силовой сети – 10 А, стоимость 1 кВт·ч электроэнергии – 7 руб.

Задание 4. Определить стоимость годовых потерь электроэнергии, вызванных несимметрией токов, при которой значения фазных токов равны: I_A=42 А, I_B=79 А, I_C=36 А. Сопротивление фазных и нулевого проводов r=0,205 Ом, время наибольших потерь 3200 ч.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные организационные мероприятия по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях.
2. Назовите основные технические мероприятия по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях.
3. Как определить экономию электроэнергии при переводе воздушных линий на более высокую ступень напряжения?
4. Как определить экономию электроэнергии при проведении мероприятий по замене проводов воздушных линий?
5. Каким образом неравномерное распределение нагрузки по фазам электрической сети сказывается на потерях электроэнергии?

Практическая работа № 4

Компенсация реактивной мощности в электрических сетях

Цель работы: изучить мероприятия по компенсации реактивной мощности, с целью снижения потерь электроэнергии.

Коэффициент мощности – один из наиболее важных показателей электроэнергетической системы. Он, как известно, определяется по формуле:

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}. \quad (4.1)$$

Компенсация реактивной мощности в электрических сетях рассматривается как важное мероприятие по уменьшению потерь мощности и электроэнергии.

Потери в линии определяется по формуле:

$$\Delta P = I^2 \cdot r_{Л}, \text{кВт}, \quad (4.2)$$

где $r_{Л}$ – активное сопротивление линии, Ом.

Ток в линии определяют по формулам:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3}U}, \text{А},$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U\cos\varphi}, \quad (4.3)$$

где P и Q – активная и реактивная мощности, передаваемые по линии, кВт и квар.

Таким образом, потери в линии во многом зависят от *реактивной мощности*, которая передается по линии.

Часть мощности, передаваемой по линии, а именно реактивная мощность, не расходуется на теплоту или механическую работу, а является лишь мерой энергии, которой обмениваются магнитные поля источника и приемника. Однако ток, соответствующий реактивной мощности, протекая по линии передачи, вызывает в ней потери мощности и напряжения.

Реактивный ток I_L и, следовательно, ток линии I можно уменьшить, подключив параллельно приемнику емкость C, в которой будет протекать ток I_c, направленный противоположно току I_L. Тогда в линии будет протекать уже меньший суммарный ток.

При этом коэффициент мощности увеличится, потери мощности и напряжения уменьшатся.

При низких значениях коэффициента мощности не полностью используются мощности генераторов и трансформаторов. Величина $\cos\varphi$ зависит от соотношения величин активного, индуктивного и емкостного сопротивления машин и аппаратов, включенных в цепь переменного тока.

Уменьшение коэффициента мощности при одной и той же передаваемой мощности приводит к увеличению тока, а, следовательно, увеличению потерь напряжения, что вызывает снижение напряжения у потребителей, также увеличиваются потери мощности и энергии. Также при увеличении силы тока необходимо увеличивать сечение проводов и кабелей, но при этом стоимость линии электропередач резко возрастает.

Для обеспечения наивысшей экономической эффективности мощность *конденсаторных батарей* в сетях напряжением 0,38 кВ нужно выбирать такой, чтобы в часы максимума реактивной нагрузки коэффициент мощности у потребителей был не менее 0,95.

В случае установки компенсирующего устройства в конце линии она разгружается по реактивной мощности:

$$\Delta P = \frac{P_{Л}^2 + (Q_{Л} - Q_{К})}{U^2} \cdot r_{Л}, \text{кВт}, \qquad (4.4)$$

где $Q_{К}$ – мощность компенсирующих устройств, квар.

Потери мощности обратно пропорциональны коэффициенту мощности, поэтому при увеличении последнего потери уменьшаются:

$$\Delta P = \frac{S_{Л}^2}{U^2} \cdot r_{Л} = \Delta P = \frac{P_{Л}^2 r_{Л}}{(\cos\varphi^2)U^2}, \text{кВт}. \qquad (4.5)$$

Экономия электроэнергии при использовании установок компенсации реактивной мощности может составить

$$\Delta W = 0{,}05W\left[1 - \left(\frac{\cos\varphi_1}{\cos\varphi_2}\right)^2\right], \text{кВт} \cdot \text{ч} \qquad (4.6)$$

где W – потребляемая активная энергия, кВт·ч;

$\cos\varphi_1$, $\cos\varphi_2$ – коэффициенты мощности до и после компенсации.

$$W = Pt, \text{кВт} \cdot \text{ч}, \qquad (4.7)$$

где P – мощность, кВт;

t – время, ч.

Наибольшее распространение для повышения коэффициента мощности получили *статические конденсаторы*. Они имеют незначительные потери энергии, мало подвержены износу, бесшумны, просты и удобны в обслуживании, их легко подобрать на различные мощности. Конденсаторы могут устанавливаться в виде отдельных единиц (при индивидуальной компенсации) у электродвигателей, также группами на шинах центрального распределительного устройства (групповая компенсация) и централизованно на шинах трансформаторных подстанций.

Емкость конденсаторов для повышения коэффициента мощности установки от значения $\cos\varphi_1$ до $\cos\varphi_2$ можно определить по формуле:

$$C = \frac{P}{2\pi f U^2}(tg\varphi_1 - tg\varphi_2), \Phi, \qquad (4.8)$$

где P – средняя активная потребляемая мощность, Вт;

φ_1 – угол сдвига фаз до компенсации;

φ_2 – угол сдвига фаз после компенсации;

U – фазное напряжение, В;

F – частота сети, Гц.

Зная величину C, можно определить реактивную мощность конденсаторов:

$$Q = U^2 2\pi f C \cdot 10^{-9}, \text{квар}. \qquad (4.9)$$

Считается, что в среднем на каждые 5 % увеличения коэффициента мощности необходимы конденсаторы, реактивная мощность которых составила бы 12 % активной мощности.

Батарея конденсаторов быстро окупается, т.к. примерно 5…7 квар мощности конденсаторов освобождает 1 кВт мощности трансформаторной подстанции, стоимость которой значительно выше стоимости конденсаторной установки.

Пример 4.1. Установка потребляет мощность 1500 кВт при напряжении 6 кВ и $\cos\varphi$=0,85. Определить, как изменится сечение питающего кабеля, если $\cos\varphi$ снизится до величины 0,6.

Решение. До снижения $\cos\varphi$ сила тока составляла:

$$I = \frac{1500}{1{,}73 \cdot 6 \cdot 0{,}85} = 170 \text{ А}.$$

При снижении $\cos\varphi$ до значения 0,6 для передачи той же активной мощности ток станет равным:

$$I' = \frac{1500}{1{,}73 \cdot 6 \cdot 0{,}6} = 241 \text{ А}.$$

По справочным таблицам можно определить, что заданная мощность при $\cos\varphi$=0,85 ($I = 170$ А) может быть передана при сечении жил кабеля S=70 мм^2 (допустимый ток $I = 175$ А). При $\cos\varphi$=0,6 потребуется сечение жил кабеля S=120 мм^2 (допустимый ток $I = 250$ А).

Пример 4.2. Определить экономию электроэнергии за счет использования компенсирующего устройства для повышения коэффициента мощности объекта с 0,6 до 0,9. Среднегодовая активная мощность электроприемников составляет 300 кВт, число часов использования установленной мощности 4200 ч.

Решение. Определяем годовой расход активной энергии объекта:

$$W = 300 \cdot 4200 = 1260000 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Определим экономию электроэнергии:

$$\Delta W = 0{,}05 \cdot 1260000 \cdot 1 - \left(1 - \frac{0{,}6}{0{,}9}\right)^2 = 6299 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Пример 4.3. К сети переменного тока напряжением 380 В подключен электродвигатель мощностью 15 кВт, работающий с коэффициентом мощности $\cos\varphi_1$=0,7. Определить емкость батареи конденсаторов для повышения коэффициента мощности до значения $\cos\varphi_2$=0,9.

Решение. Определим значения $tg\varphi_1$ и $tg\varphi_2$.

При $\cos\varphi_1$=0,7: φ_1=45,5°, $tg\varphi_1$=1,024.

При $\cos\varphi_2$=0,9: φ_2=25,8°, $tg\varphi_1$=0,48.

Определим значение емкости по формуле (4.8):

$$C = \frac{15000}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 380^2}(1{,}024 - 0{,}48) = 0{,}00016 \text{ Ф} = 160 \text{ мкФ}.$$

Определим реактивную мощность конденсаторов:

$$Q = 380^2 2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 160 \cdot 10^{-9} = 7{,}3 \text{ квар}.$$

Задание 1. Определить, как изменится сечение питающего кабеля, если увеличить значение $\cos\varphi$ с величины 0,6 до 0,9. Потребляемая мощность 1,3 кВт, при напряжении 10 кВ.

Задание 2. Определить стоимость экономии электроэнергии за счет использования компенсирующего устройства для повышения коэффициента мощности объекта с 0,6 до 0,93. Среднегодовая активная мощность электроприемников – 280 кВт, число часов использования установленной мощности 3000 ч.

Задание 3. Определить емкость батареи конденсаторов для повышения коэффициента мощности с 0,72 до 0,92, если к сети напряжением 380 В подключен электродвигатель мощностью 11 кВт.

Контрольные вопросы

1. Как влияет коэффициент мощности на потери мощности и напряжения в электрической сети?
2. Какое значение коэффициента мощности у потребителей для большей экономической эффективности?
3. Как определяется экономия электроэнергии при использовании установок компенсации реактивной мощности?
4. Как определить емкость конденсаторов для повышения коэффициента мощности?
5. Как определить величину реактивной мощности конденсаторов?

Практическая работа № 5

Устройства для компенсации реактивной мощности

Цель работы: изучить основные типы и конструкции устройств, используемых для компенсации реактивной мощности.

Искусственные способы повышения *коэффициента мощности* осуществляются путем установки на предприятиях специального электрооборудования, компенсирующего реактивную мощность. Регулируемая компенсация реактивной мощности обеспечивается с помощью устройств, подключаемых к шинам подстанции или нагрузки параллельно. Наиболее распространены статические источники реактивной мощности или статические компенсаторы реактивной мощности. К ним относятся *конденсаторные батареи*, *реакторы*, устройства на базе преобразователей (*выпрямители*, *инверторы*) с искусственной коммутацией *тиристоров* или их комбинации.

Конденсаторные батареи.

Конденсаторные батареи являются простым и надежным статическим устройством. Конденсаторные батареи собирают из отдельных конденсаторов, которые выпускаются на различные мощности и номинальные напряжения. Число и емкость конденсаторов определяют в зависимости от величины реактивной мощности, необходимой для компенсации.

Мощность однофазного конденсатора:

$$Q_{\text{к}} = \omega U^2 C \cdot 10^{-3}, \text{квар}, \qquad (5.1)$$

где $\omega = 2\pi f$ – угловая частота, Гц;

f – частота тока, Гц;

U – линейное напряжение, кВ;

C – емкость, мкФ.

Реактивная мощность батареи конденсаторов:

1) при соединении звездой

$$Q_{\text{к}} = \omega U^2 C_{\text{ф}} \cdot 10^{-3}, \text{квар}, \qquad (5.2)$$

где $C_{\text{ф}}$ – емкость одной фазы, мкФ;

2) при соединении треугольником

$$Q_{\text{к}} = 3\omega U^2 C_{\text{ф}} \cdot 10^{-3}, \text{квар}. \qquad (5.3)$$

Емкость одной фазы конденсаторной батареи:

1) при соединении звездой:

$$C_{\text{ф}} = \frac{Q_{\text{к}} \cdot 10^{-3}}{\omega U^2}, \text{мкФ}, \quad (5.4)$$

2) при соединении треугольником:

$$C_{\text{ф}} = \frac{Q_{\text{к}} \cdot 10^{-3}}{3\omega U^2}, \text{мкФ}. \quad (5.5)$$

Емкость конденсатора обратно пропорциональна величине напряжения, поэтому применение их на стороне высокого напряжения значительно снижает их число. При соединении батареи в треугольник требуется в 3 раза меньше конденсаторов, чем при соединении звездой. После определения суммарной емкости батареи выбирают тип конденсатора и определяют их способ соединения в батарею, при этом следует учитывать, что в батареи следует применять конденсаторы одного типа.

Число конденсаторов определяют из выражений:

1) для последовательного соединения:

$$C_{\text{экв}} = \frac{C}{n}, \quad (5.6)$$

2) для параллельного соединения:

$$C_{\text{экв}} = n, \quad (5.7)$$

где $C_{\text{экв}}$ – суммарная емкость конденсаторов, мкФ;

C – емкость одного конденсатора, мкФ;

n – число конденсаторов.

Конденсатор, как и любой элемент электроэнергетической системы, характеризуется потерями активной мощности, которые приводят к его нагреву. Эти потери тем больше, чем выше приложенное напряжение, его частота и емкость конденсатора. Потери в конденсаторе зависят и от свойств диэлектрика, определяемых тангенсом угла диэлектрических потерь ($tg\delta$) и характеризующих удельные потери (Вт/квар) в конденсаторе. В зависимости от типа и назначения конденсатора потери в них могут составлять от 0,5 до 4 Вт/квар.

В электроэнергетике для компенсации реактивной мощности применяют так называемые *косинусные конденсаторы*, предназначенные для работы при частоте напряжения 50 Гц. Их мощность составляет от 10 до 100 квар. Конструктивно конденсатор представляет собой металлический (стальной или алюминиевый) корпус, в котором размещаются секции (пакеты) из нескольких слоев алюминиевой фольги, проложенные конденсаторной бумагой или

синтетической пленкой толщиной 10…15 мкм (0,01…0,015 мм). Соединенные между собой секции имеют выводы, расположенные снаружи корпуса, в его верхней части. Трехфазные конденсаторы имеют три фарфоровых вывода, однофазные – один.

Шкала номинальных напряжений конденсаторов от 230 В до 10,5 кВ, что позволяет собирать из них установки для сетей напряжением от 380 В и выше. Конденсаторы обладают хорошей перегрузочной способностью по току (до 30 % от номинального) и по напряжению (до 10 % от номинального). Группу конденсаторов, соединенных параллельно или последовательно, или параллельно-последовательно, называют *конденсаторной батареей*.

Конденсаторная батарея, оборудованная коммутационной аппаратурой, средствами защиты и управления, образует *конденсаторную установку*.

Регулирующий эффект конденсаторной установки по реактивной мощности показан на рисунке 5.1, *а*, а конденсаторной установки, состоящий из нескольких секций, на рисунке 5.1, *б*.

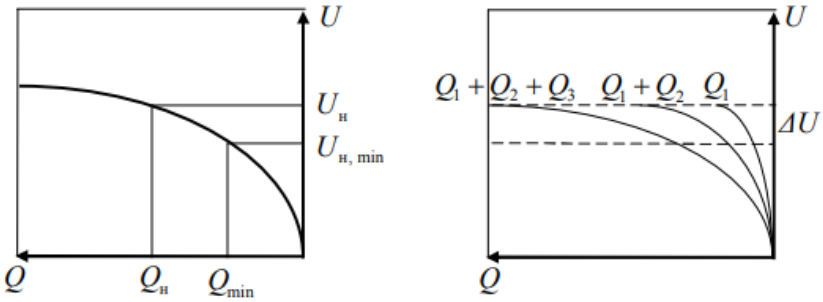
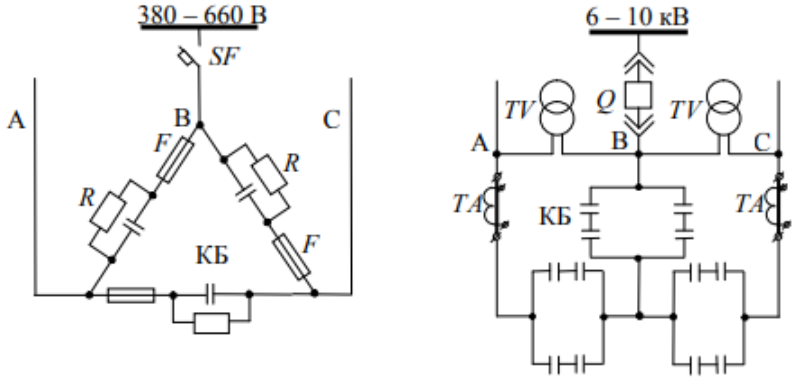


Рис. 5.1. Статические характеристики конденсаторной установки:
а) состоящей из одной секции; б) состоящей из трех секций

Как видно из рисунка 5.1, *а*, при снижении напряжения от $U_{ном}$ до U_{min} реактивная мощность снижается пропорционально квадрату напряжения от $Q_н$ до Q_{min}. Преодоление этого недостатка находят в формировании батарей из нескольких секций, каждая из которых, управляемая регулятором напряжения и/или мощности, подключается к сети через свой выключатель, наращивая таким образом емкость батареи в целом. Это и позволяет увеличивать

суммарную мощность конденсаторной батареи при снижении напряжения.

Конденсаторная установка состоит, как правило, из нескольких секций, имеющих общую систему управления. *Низковольтные* конденсаторные установки напряжением 380 В собираются из трехфазных конденсаторов, включенных параллельно. Для защиты таких установок от коротких замыканий и перегрузки применяют предохранители (рис. 5.2, *а*). *Высоковольтные* конденсаторные установки собираются из однофазных конденсаторов, включенных последовательно-параллельно (рис. 5.2, *б*).



а) б)

Рис. 5.2. Схема одной трехфазной секции конденсаторной установки:
а) для сети 380-660 В; б) для сети 6-10 кВ

Включение конденсаторных установок сопровождается бросками тока, а отключение – перенапряжением, что отрицательно сказывается на сроке службы конденсаторов и коммутационной аппаратуры. Поэтому конденсаторные установки не рекомендуется включать и выключать более 2…4 раз за сутки. Для ограничения бросков тока конденсаторы перед включением обязательно должны быть разряжены с помощью разрядных сопротивлений *R* или трансформаторов напряжения *TV* (рис. 5.2). Обычно эти устройства постоянно подключены к конденсаторам, а резисторы могут быть встроены внутри конденсатора.

Разрядное сопротивление определяется выражением:

$$R \leq 15 \cdot 10^6 \frac{U_\text{ф}}{Q_\text{к}}, \qquad (5.8)$$

где $U_\text{ф}$ – фазное напряжение, кВ;

$Q_\text{к}$ – мощность батареи конденсаторов, квар.

Статические тиристорные компенсаторы на базе конденсаторных батарей.

Использование конденсаторных установок в случаях, если требуется быстродействующее регулирование реактивной мощности, частое переключение секций батарей невозможно из-за частых бросков тока и перенапряжений, возникающих при коммутациях батарей обычными выключателями. Для устранения этих явлений вместо выключателей применяют *тиристорные ключи*, обеспечивающие коммутацию конденсаторных батарей в определенный момент времени.

Тиристорный ключ состоит из двух тиристоров, включенных встречно-параллельно, как показано на рисунке 5.3, *а*. Их применяют для регулирования конденсаторных батарей и реакторов.

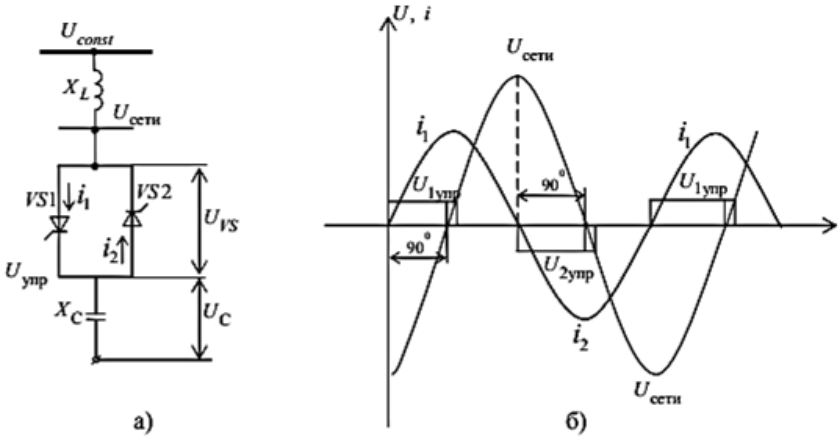


Рис. 5.3. Тиристорный выключатель для коммутации конденсаторных батарей:
а – принципиальная схема одной фазы; *б* – ток и напряжение на конденсаторной батарее в установившемся режиме

Для ограничения бросков тока тиристор следует открывать в тот момент времени, когда мгновенное значение напряжения сети

и на батарее равны или близки. Для ограничения перенапряжений при отключении батареи тиристор следует закрывать при переходе тока в нем через нулевое значение. Таким образом, можно практически исключить броски тока и перенапряжения и снять ограничение на частоту переключения конденсаторных батарей.

Однофазная схема конденсаторной батареи, коммутируемой тиристорами, приведена на рисунке 5.3, *а*. Работа устройства в установившемся режиме, который наступает после открытия тиристора через 0,01…0,02 с, не сопровождается ни бросками тока, ни перенапряжениями (рис. 5.3, *б*). На рисунке 5.4 показан статический тиристорный компенсатор в однофазном исполнении, состоящий из трех секций конденсаторных батарей, каждая из которых коммутируется своим тиристорным ключом. Статические характеристики таких устройств аналогичны приведенным на рисунке 5.3.

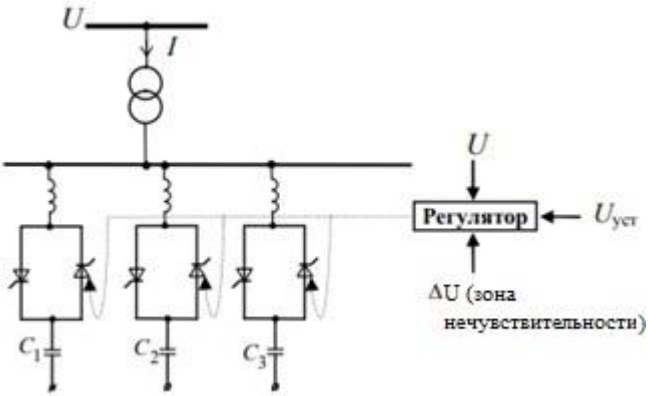


Рис. 5.4. Принципиальная схема статического тиристорного компенсатора, состоящего из трех секций конденсаторных батарей, коммутируемых тиристорами

Зарубежные производители устройств для компенсации реактивной мощности: «Schneider Electric»; «NOKIAN CAPACITORS»; «Epcos AG»; «AREVA»; «Electronicon». Отечественные производители: «Диал-электролюкс», «Электроинтер», «НЮКОН»; Усть-Каменогорский конденсаторный завод; «Элтехника» и др.

Задание. Ознакомиться с основными типами и конструкцией устройств, используемых для компенсации реактивной мощности.

Контрольные вопросы

1. Как определяется мощность однофазного конденсатора?
2. Из чего состоит конденсаторная установка?
3. Опишите устройство низковольтных и высоковольтных конденсаторных установок.
4. Поясните регулирующий эффект конденсаторной установки по реактивной мощности.
5. Поясните назначение тиристорного ключа в тиристорных компенсаторах.

Практическая работа № 6

Снижение потерь электроэнергии в силовых трансформаторах

Цель работы: изучить методику определения потерь электроэнергии в силовых трансформаторах.

Работа силовых трансформаторов характеризуется наличием потерь, которые увеличиваются в периоды нерабочего времени, в основном, из-за роста потерь холостого хода (активные потери мощности трансформатора в стали, кВт), а также снижения нагрузки относительно номинальной, за счет увеличения потребления реактивной энергии (активные потери в меди обмотки трансформатора).

Определение потерь электроэнергии в двухобмоточном трансформаторе.

Для подсчета потерь электрической энергии в двухобмоточном трансформаторе необходимы следующие данные:

а) каталожные или паспортные:

- номинальная мощность трансформатора $S_н$, кВ·А;
- потери активной мощности в стали трансформатора $\Delta P_{ст} = \Delta P_{хх}$, кВт;
- потери активной мощности в меди обмоток трансформатора;
- при номинальной нагрузке $\Delta P_м = \Delta P_{кз}$, кВт;
- ток холостого хода трансформатора $I_{хх}$, %;
- напряжение короткого замыкания $U_{кз}$, %;

б) расчетные:

- потери реактивной мощности трансформатора, кВАр:
  - при холостом ходе $\Delta Q_{xx} = S_н \cdot \frac{I_{хх}}{100}$;
  - при коротком замыкании $\Delta Q_{кз} = S_н \cdot \frac{U_{кз}}{100}$.

При расчете потерь по методике в приводимой ниже последовательности определяются:

а) активная W_a (кВт·ч) и реактивная $V_р$ (кВАр·ч) энергия, учтенная за месяц по расчетным электросчетчикам;

б) средневзвешенный коэффициент мощности $\cos\varphi_{ср}$ по формуле:

$$\operatorname{tg}\varphi_{\text{ср}} = \frac{V_p}{W_a}, \qquad (6.1)$$

и затем по тригонометрическим таблицам;

в) коэффициент загрузки

$$k_{\text{з}} = \frac{W_{\text{а}}}{S_{\text{н}} T_{\text{п}} \cos\varphi_{\text{ср}}}, \qquad (6.2)$$

где $T_{\text{п}}$ – число часов работы трансформатора, которое принимается в январе, марте, мае, июле, августе, октябре, декабре равным 744 ч; в апреле, июне, сентябре, ноябре – 720 ч; в феврале – 672 ч, а для високосного года – 696 ч.

В случае, если трансформатор отключается на праздничные или выходные дни, указанное время должно быть уменьшено на время отключения трансформатора.

г) потери энергии в трансформаторе по формулам:

- потери активной энергии:

$$\Delta W_{\text{а}} = \Delta P_{\text{хх}} \cdot T_{\text{п}} + \Delta P_{\text{кз}} \cdot k_{\text{з}}^2 \cdot T_{\text{раб}}, \text{ кВт·ч}; \qquad (6.3)$$

- потери реактивной энергии:

$$\Delta V_{\text{р}} = \Delta Q_{\text{хх}} \cdot T_{\text{п}} + \Delta Q_{\text{кз}} \cdot k_{\text{з}}^2 \cdot T_{\text{раб}}, \text{ кВАр·ч}, \qquad (6.4)$$

где $T_{\text{раб}}$ – число часов работы трансформатора в течение месяца с номинальной нагрузкой, которое принимается равным для предприятий, работающих в одну смену – 200 ч, в две смены – 450 ч, в три смены – 700 ч.

Расчетный средневзвешенный коэффициент мощности $\cos\varphi_{\text{расч}}$ для предприятий, у которых электросчетчики установлены на стороне первичного напряжения (до абонентского трансформатора с высшим напряжением 35 кВ и выше), определяется по формуле:

$$tg\varphi_{\text{расч}} = \frac{V_p - \Delta V_p}{W_{\text{а}} - \Delta W_{\text{а}}},$$

а затем по тригонометрическим таблицам.

Потери в трехобмоточном трансформаторе.

Для подсчета потерь в абонентском трехобмоточном трансформаторе необходимы следующие данные:

а) каталожные или паспортные:

- номинальная мощность трансформатора $S_{\text{н}}$, кВ·А;
- мощность обмоток высшего, среднего и низшего напряжений $S_{\text{вн}}$, $S_{\text{сн}}$, $S_{\text{нн}}$, кВ·А (в паспорте или каталоге даны в процентах от номинальной мощности);
- потери активной мощности в стали трансформатора $\Delta P_{\text{ст}} = \Delta P_{\text{хх}}$, кВт;

- потери активной мощности в меди обмоток высшего, среднего и низшего напряжений трансформатора при номинальной нагрузке $\Delta P_{вн}$, $\Delta P_{сн}$, $\Delta P_{нн}$, кВт;
- ток холостого хода трансформатора $I_{хх}$, %;
- напряжение короткого замыкания между обмотками $U_{вн\text{-}сн}$, $U_{вн\text{-}нн}$, $U_{сн\text{-}нн}$, %;

б) расчетные:

- потери реактивной мощности трансформатора, кВАр:

– при холостом ходе:

$$\Delta Q_{xx} = S_{н} \frac{I_{хх}}{100}, \qquad (6.5)$$

– напряжение короткого замыкания каждой из обмоток трансформатора, %

$$U_{ВН} = 0{,}5(U_{ВН-СН} + U_{ВН-НН} - U_{СН-НН}),$$
$$U_{СН} = 0{,}5(U_{СН-НН} + U_{ВН-СН} - U_{ВН-НН}),$$
$$U_{НН} = 0{,}5(U_{ВН-НН} + U_{СН-НН} - U_{ВН-СН}). \qquad (6.6)$$

– реактивная мощность, потребляемая обмотками высшего, среднего и низшего напряжений трансформатора при полной их загрузке, кВАр:

$$\Delta Q_{ВН} = S_{ВН} \cdot \frac{U_{ВН}}{100},$$
$$\Delta Q_{СН} = S_{СН} \cdot \frac{U_{СН}}{100},$$
$$\Delta Q_{НН} = S_{НН} \cdot \frac{U_{НН}}{100}. \qquad (6.7)$$

При расчете потерь по методике в приводимой ниже последовательности определяются:

а) активная энергия $W_{а}$ (кВт·ч), прошедшая через обмотки высшего $W_{а\ вн}=W_{а\ сн}+W_{а\ нн}$, среднего $W_{а\ сн}$ и низшего $W_{а\ нн}$ напряжений и реактивная энергия (кВАр·ч), прошедшая через обмотки высшего $V_{р\ вн}=V_{р\ сн}+V_{р\ нн}$, среднего $V_{р\ сн}$ и низшего $V_{р\ нн}$ напряжений, которые учитываются за месяц по расчетным электросчетчикам;

б) средневзвешенный коэффициент мощности на сторонах высшего, среднего и низшего напряжений $\cos\varphi_{ср.вн}$, $\cos\varphi_{ср.сн}$, $\cos\varphi_{ср.нн}$;

в) коэффициент загрузки каждой из обмоток трансформатора:

$$k_{з_{ВН}} = \frac{W_{а_{ВН}}}{S_{ВН} T_{П} \cos \varphi_{ср\ ВН}},$$

$$k_{з_{СН}} = \frac{W_{а_{СН}}}{S_{СН} T_{П} \cos \varphi_{ср\ ВН}},$$

$$k_{з_{НН}} = \frac{W_{а_{ВН}}}{S_{НН} T_{П} \cos \varphi_{ср\ НН}}, \qquad (6.8)$$

где $W_{а\ вн}$, $W_{а\ сн}$, $W_{а\ нн}$ – активная энергия, прошедшая за месяц через обмотки высшего, среднего и низшего напряжений, кВт·ч;

$S_{вн}$, $S_{сн}$, $S_{нн}$ – номинальная мощность обмоток высшего, среднего и низшего напряжений, кВ·А;

$\cos \varphi_{ср\ вн}$, $\cos\varphi_{ср\ сн}$, $\cos\varphi_{ср\ нн}$ – средневзвешенный коэффициент мощности на стороне высшего, среднего и низшего напряжений;

$T_{п}$ – полное число часов работы трансформатора (принимается такое же, как для двухобмоточного трансформатора);

г) потери энергии в трансформаторе:

- потери активной энергии

$$\Delta W_{а} = \Delta P_{хх} T_{п} + \left(\Delta P_{ВН} k^2_{з\ ВН} + \Delta P_{СН} k^2_{з\ СН} + \Delta P_{НН} k^2_{з\ НН} \right) \times \times T_{раб}, \text{кВт} \cdot \text{ч}, \qquad (6.9)$$

- потери реактивной энергии

$$\Delta V_{р} = \Delta Q_{хх} T_{п} + \left(\Delta Q_{ВН} k^2_{з\ ВН} + \Delta Q_{СН} k^2_{з\ СН} + \Delta Q_{НН} k^2_{з\ НН} \right) \times \times T_{раб}, \text{квар} \cdot \text{ч}, \qquad (6.10)$$

где $T_{раб}$ – число часов работы трансформатора в месяц с номинальной нагрузкой, которое принимается таким же, как для двухобмоточных трансформаторов, ч.

Расчетный средневзвешенный коэффициент мощности определяется также, как и для двухобмоточного трансформатора.

При загрузке силовых трансформаторов на 30 % нагрузочные потери примерно равны потерям холостого хода. В среднем на каждой ступени трансформации тратится до 7 % передаваемой мощности. Работа трансформатора в режиме холостого хода или близком к нему вызывает излишние потери электроэнергии не только в нем, но и по всей системе электроснабжения из-за низкого коэффициента мощности.

Целесообразно отключать мало загруженные трансформаторы при сезонном снижении нагрузки.

Пример. Определить потери активной энергии в трансформаторе ТМ-250-10/0,4 для предприятия, работающего в одну смену,

при времени наибольших потерь, равном 1886 ч, коэффициенте загрузки трансформатора 0,4.

Решение. Из технических данных трансформатора ТМ-250: $\Delta P_{\text{хх}}=0{,}74$ кВт, $\Delta P_{\text{кз}}=3{,}7$ кВт.

Определим потери активной мощности:

$$\Delta W_{\text{а}} = 0{,}74 \cdot 1886 + 3{,}7 \cdot 0{,}4^2 \cdot 200 = 2579 \text{ кВт·ч}.$$

Задание 1. Определить стоимость потерь активной энергии в трансформаторе ТСЛ-100 для предприятия, работающего в две смены, при времени наибольших потерь, равном 1560 ч. Коэффициент загрузки трансформатора равен 0,62. Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии – 7 руб.

Задание 2. Определить потери реактивной энергии в трехфазном трехобмоточном трансформаторе ТДТН-10000/110, при времени наибольших потерь, равном 1886 ч. Коэффициенте загрузки трансформатора равен 0,52.

Контрольные вопросы

1. Опишите методику определения потерь электроэнергии в двухобмоточном трансформаторе.
2. Как определяется реактивная мощность, потребляемая обмотками высшего, среднего и низшего напряжений трансформатора при полной их загрузке?
3. Как определяется средневзвешенный коэффициент мощности?
4. Как определяют потери электроэнергии в трехобмоточном трансформаторе?
5. Как коэффициент загрузки трансформатора влияет на потери электроэнергии?

Практическая работа № 7

Энергосбережение при использовании электродвигателей

Цель работы: изучить возможные пути экономии электроэнергии при использовании электродвигателей.

Известно, что более половины всей производимой в мире электроэнергии потребляется *электродвигателями* в *электроприводах* рабочих машин, механизмов, транспортных средств. Поэтому меры по экономии электроэнергии в электроприводах наиболее актуальны.

Электропривод преобразует электрическую энергию в механическую, включает электродвигатель, пускорегулирующую аппаратуру, механизм передачи движения к рабочей машине.

Показателем загрузки электродвигателя служит величина тока или мощности потребителя из сети, которую можно определить путем замеров или расчетов. Номинальный режим двигателя соответствует данным, указанным на щитке (паспорте) двигателя.

Ток двигателя при номинальной нагрузке:

$$I_{\text{Н}} = \frac{1000 P_{\text{Н}}}{\sqrt{3} U_{\text{Н}} \cos \varphi_{\text{Н}} \eta_{\text{Н}}}, \text{А}, \qquad (7.1)$$

где $P_{\text{Н}}$ – номинальная мощность, кВт;

$U_{\text{Н}}$ – номинальное напряжение, В;

$\cos \varphi_{\text{Н}}$ – коэффициент мощности при номинальной нагрузке;

$\eta_{\text{Н}}$ – коэффициент полезного действия при номинальной нагрузке.

Мощность, потребляемая электродвигателем из сети (*присоединенная мощность*):

$$P_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}}, \text{кВт}. \qquad (7.2)$$

Для электродвигателей установлены нормы отклонения напряжения от –7,5 % до +10 %.

При снижении величины напряжения, подводимого к асинхронному электродвигателю, на 10 % его вращающий момент уменьшается на 19 %, при снижении на 30 % уменьшается на 51 %.

С уменьшением степени загрузки двигателя возрастает потребление реактивной мощности по сравнению с активной мощностью, т.к. снижается коэффициент мощности.

Известно, что 1 квар реактивной мощности приводит к дополнительным потерям от 1 до 15 % электроэнергии. Это объясняется тем, что реактивный ток, проходя по обмоткам электродвигателя и не производя полезной работы, затрачивает энергию на преодоление их сопротивления, т.е. нагревает их.

Энергетическая эффективность работы электропривода зависит от типа, скорости и времени нагрузки двигателя, а также от его мощности. Для двигателей мощностью 5 кВт при 100 % нагрузке КПД составляет 80 %, при 50 % нагрузке – 55 %. При нагрузке до 50 % и менее эффективность двигателя начинает быстро падать по причине увеличения потерь в роторе.

Замена одного двигателя другим соответствующей номинальной мощности при его загрузке менее 45 % всегда целесообразна. При 45-75 % загрузке требуется проводить экономическую оценку данного мероприятия; при загрузке двигателя более 70 % – замена нецелесообразна.

Возможные пути экономии электроэнергии при использовании электродвигателей.

- Повышение энергетических характеристик электродвигателей за счет снижения их электромагнитных нагрузок и совершенствования конструкции электрических машин.
- Правильный выбор электродвигателей для конкретных условий работы и использование их с учетом нагрузочной диаграммы механизма.
- Применение регулируемых электроприводов.

Правильный выбор и загрузка электродвигателя.

Механическая нагрузка определяет эффективность эксплуатации электродвигателей. Увеличение средней нагрузки рабочей машины снижает удельный расход электроэнергии. Для нормального функционирования электропривода необходимо обеспечить максимальное использование рабочей машины.

Для определения экономии электроэнергии при проведении данного мероприятия определяют *удельный расход* рабочей машины:

$$\Delta W = \frac{k_{\text{н}} + k_{\text{м}} \dfrac{1 - \eta_{\text{м}}}{k_t}}{\eta_{\text{м}} k_{\text{н}}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}, \quad (7.3)$$

где $k_{\text{н}}$ – коэффициент загрузки;

$k_{\text{м}}$ – коэффициент, зависящий от типа и конструкции рабочей машины. $k_{\text{м}}$=0,7…0,9;

$\eta_{\text{м}}$ – КПД рабочей машины;

k_t – коэффициент использования рабочей машины.

$$k_{\text{н}} = \frac{P}{P_{\text{ном}}}, \quad (7.4)$$

$$k_t = \frac{t_{\text{м}}}{t_{\text{м}} + t_{\text{х}}}, \quad (7.5)$$

где P – фактическая мощность нагрузки, кВт;

$P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность электродвигателя, кВт;

$t_{\text{м}}$ – время работы механизма, ч;

$t_{\text{х}}$ – время работы механизма на холостом ходу, ч.

При оптимальном использовании рабочей машины, т.е. при отсутствии холостого хода ($t_{\text{х}}$=0) и полной нагрузке машины ($k_{\text{н}}$=1) удельный расход будет равен:

$$\Delta W_{\text{опт}} = \frac{1 + k_{\text{м}}(1 - \eta_{\text{м}})}{\eta_{\text{м}}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}. \quad (7.6)$$

Для определения экономии электроэнергии в результате повышения нагрузки рабочей машины используют кривые (рис. 7.1) и коэффициент, учитывающий увеличение удельного расхода энергии в зависимости от $k_{\text{н}}$ и $t_{\text{х}}$:

$$\beta = \frac{\text{Э}_{\text{у}}}{\text{Э}_{\text{опт}}}. \quad (7.7)$$

Часовая экономия электроэнергии может быть определена по формуле:

$$\Delta W = P \frac{\beta_1 - \beta_2}{W_{\text{опт}}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}, \quad (7.8)$$

где β_1 и β_2 – значения коэффициента β до и после повышения нагрузки.

Кроме увеличения загрузки рабочих машин, также актуально заменять недогруженные электродвигатели электродвигателями меньшей мощности.

Мощность электродвигателей необходимо выбирать в соответствии с режимом производственного оборудования и не допускать излишних запасов.

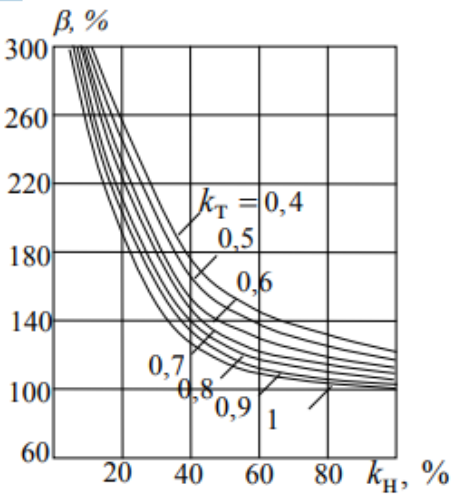


Рис. 7.1. Зависимость изменения удельных расходов электроэнергии от коэффициента нагрузки рабочей машины

Известно, что асинхронный электродвигатель работает с высшим КПД и коэффициентом мощности при загрузке его от 75 % до номинальной мощности. Поэтому эксплуатация электродвигателей, загруженных менее 50 %, нерентабельна.

При нагрузке электродвигателя в пределах 45…70% номинальной мощности целесообразность их замены должна быть подтверждена уменьшением суммарных потерь активной мощности в электрической системе и в электродвигателе.

Замена незагруженных электродвигателей, даже если она оправданна расчетом, может производиться только после тщательной проверки возможности их полной загрузки за счет правильного использования приводимых ими рабочих машин. Это мероприятие оправданно в тех случаях, когда двигатель выбран неправильно и завышен по мощности по сравнению с рабочей машиной. Установка двигателя пониженной мощности как бы узаконивает недостаточное использование рабочей машины и в перспективе может служить препятствием для полного использования ее при соответствующем усовершенствовании технологического процесса.

Еще одним направлением экономии электроэнергии при использовании электроприводов путем совершенствования режима

их работы является ликвидация или снижение до минимума *холостого хода* электродвигателей путем совершенствования технологии производства, использования ограничителей холостого хода и приближения станций управления к рабочим местам. Применение таких мер всегда приводит к повышению коэффициента мощности и экономии электроэнергии.

Установка *ограничителей холостого хода* целесообразна, если холостой ход длится более 10 с. По диаграмме (рис. 7.2) для определения эффективности использования ограничителей холостого хода можно определить экономическую целесообразность их применения. По данной диаграмме находят показатель эффективности ε по расчетным параметрам, которые можно определить по формулам:

$$a = \frac{P_{\text{х}}}{P_{\text{ном}}},$$

$$b = \frac{1}{4t_{\text{х}}}. \qquad (7.9)$$

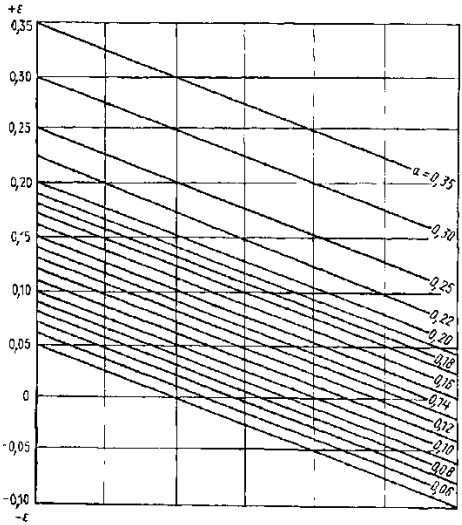


Рис. 7.2.

Часовую экономию электроэнергии от ограничения продолжительности холостого хода определяют по формуле:

$$\Delta W_{\text{ч}} = \frac{\varepsilon z P_{\text{ном}} t_{\text{х}}}{3600}, \text{кВт} \cdot \text{ч}, \qquad (7.10)$$

где z – число циклов работы механизма, определяющее часовую экономию электроэнергии.

Применение регулируемых электроприводов.

В установках с регулируемой частотой вращения – насосах, вентиляторах и т.д. – широко применяются регулируемые электроприводы. Применение регулятора напряжения позволит уменьшить потери двигателя при изменении нагрузки. При снижении напряжения с помощью регулятора уменьшаются потери общей потребляемой мощности, т.к. регулятор имеет малые потери.

Известно, что при применении регулируемых приводов в вентиляционных системах, работающих в переменных режимах, экономия электроэнергии может составить 50 %, в компрессорных системах – 40…50 %, в вентиляторах и воздуходувках – 30 %, в насосных системах – 25 %.

Простейшим способом регулирования напряжения в обмотках двигателя является переключение схемы его питания с «треугольника» на «звезду». При таком переключении напряжение скачком изменяется в 1,73 раза. Возможно автоматическое переключение обмоток в зависимости от нагрузки двигателя, длительное время работающего на малой нагрузке.

Наибольший эффект от регулирования позволяет получить использование *частотно-регулируемых электроприводов*.

Такой электропривод позволяет снизить потребление электроэнергии за счет оптимизации производительности технологического оборудования, вентиляторов, компрессоров, транспортных механизмов.

Наряду со снижением расхода электроэнергии частотно-регулируемый привод дает ряд дополнительных преимуществ:

- уменьшение износа основного оборудования за счет плавных пусков и торможения, устранение гидравлических ударов, снижение напора;
- ограничение пускового тока на уровне номинального тока в рабочих и аварийных режимах;
- снижение шума;
- возможность комплексной автоматизации систем;
- увеличение срока службы механической и электрической частей оборудования.

При этом возможна замена нерегулируемого электропривода на частотно-регулируемый при модернизации производств. Применение такого привода в водоснабжении позволит отказаться от водонапорной башни.

Частотно-регулируемый привод потребляет значительно меньший пусковой ток, чем при прямом пуске, таким образом, в ряде случаев можно уменьшить типоразмер электродвигателя, вместе с этим уменьшив потребление электроэнергии из сети.

Пример 7.1. Определить экономию электроэнергии за смену (8 ч) от увеличения загрузки производственной установки с 30 % до 85 % и снижения продолжительности холостого хода с 40 % до 10 %. Мощность электропривода установки 9,5 кВ, КПД рабочей машины 0,9, коэффициент $k_м$=0,8.

Решение. По графику (рис. 7.1) определяем для каждого из режимов нагрузки значения коэффициентов β_1 и β_2.

При $k'_н$=30 % и k'_t=0,6: β_1=180 %.

При $k''_н$=85 % и k''_t=0,9: β_2=108 %.

Минимальный удельный расход электроэнергии (при $\eta_м$=0,8 и $k_м$=0,9)

$$Э_{опт} = \frac{1 + 0{,}8(1 - 0{,}8)}{0{,}9} = 1{,}28 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Часовая экономия электроэнергии:

$$\Delta Э = 9{,}5 \cdot \frac{1{,}5 - 1{,}08}{1{,}28} = 3{,}11 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Экономия электроэнергии за 8 часов составит:

$$W = 3{,}11 \cdot 8 = 24{,}93 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Пример 7.2. Определить часовую экономию электроэнергии при использовании ограничителя холостого хода электродвигателя растворонасоса мощностью $P_{ном}$=9,5 кВт, если $P_х$=1,12 кВт, $t_х$=25 с, z=20 цикл./ч.

Решение. Определяем значение параметров a и b:

$$a = \frac{1{,}12}{7{,}5} = 0{,}15,$$

$$b = \frac{1}{4 \cdot 25} = 0{,}01.$$

По диаграмме (рис. 7.2) определяем ε=0,125.

Часовая экономия электроэнергии составит:

$$\Delta W_{\text{ч}} = \frac{0{,}125 \cdot 20 \cdot 9{,}5 \cdot 25}{3600} = 0{,}16 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Задание 1. Определить стоимость сэкономленной электроэнергии за 10 ч от увеличения загрузки производственной установки с 55 % до 80 % и снижения продолжительности холостого хода с 50 % до 10 %. Мощность установки 5,5 кВ, КПД рабочей машины 0,82, коэффициент $k_м$=0,9. Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии – 7 руб.

Задание 2. Определить стоимость сэкономленной электроэнергии при использовании ограничителя холостого хода электродвигателя установки мощностью 11 кВт, если $P_х$=1,1 кВт, $t_х$=20 с, z=18 цикл./ч. Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии – 7 руб.

Контрольные вопросы

1. Как коэффициент мощности и степень загрузки электродвигателя влияют на потребление реактивной мощности?
2. От чего зависит энергетическая эффективность работы электропривода?
3. Перечислите возможные пути экономии электроэнергии при использовании электродвигателей.
4. Когда целесообразна установка ограничителей холостого хода электродвигателя?
5. Преимущество использования частотно-регулируемых электроприводов.

Практическая работа № 8

Экономия электроэнергии в осветительных установках

Цель работы: изучить возможные мероприятия по экономии электроэнергии в осветительных установках.

Большую долю в энергопотреблении сельскохозяйственных потребителей составляет *освещение* (до 40…60 %). Около 14 % всей производимой электроэнергии в России расходуется в светотехнических установках.

Потенциал экономии электроэнергии в настоящее время огромен, составляет примерно 40…50 % от всей электроэнергии, потребляемой осветительными установками, преимущественно за счет использования более эффективных источников света взамен малоэффективных.

Для освещения и облучения используют лампы накаливания, газоразрядные лампы высокого и низкого давления, светодиодные светильники.

Лампы накаливания. Лампы накаливания содержат нить накала, используется эффект нагревания тела накаливания при протекании через него электрического тока, при этом значительная часть энергии превращается не в свет, а в тепло. Срок службы ламп накаливания, как правило, не превышает 100 ч, что в сравнении с другими источниками достаточно мало.

Галогенные лампы накаливания – это лампа накаливания, в баллон которой добавлен буферный газ: пары галогенов (брома или йода). Буферный газ повышает срок службы лампы до 2000-4000 часов и позволяет повысить температуру спирали. При этом рабочая температура спирали составляет примерно 3000 К. Эффективная светоотдача большинства массово производимых галогенных ламп составляет от 15 до 22 лм/Вт. Такие лампы компактны, выглядят эстетично, однако энергоэффективность галогенных ламп, также как и ламп накаливания, достаточно низкая.

Люминесцентные лампы – это газоразрядные источники света, в которых электрический разряд в парах ртути создаёт ультрафиолетовое излучение, которое преобразуется в видимый свет с

помощью люминофора – например, смеси галофосфата кальция с другими элементами.

Люминесцентные лампы нашли широкое применение в освещении общественных зданий: школ, больниц, офисов и т. д. С появлением *компактных люминесцентных ламп* (КЛЛ) с электронными балластами, которые можно включать в патроны Е27 и Е14 вместо ламп накаливания, люминесцентные лампы широко используются в быту.

Световая отдача люминесцентной лампы в несколько раз больше, чем у ламп накаливания аналогичной мощности. Срок службы люминесцентных ламп около 5 лет при условии ограничения числа включений до 2000, то есть не больше 5 включений в день в течение гарантийного срока 2 года.

Их преимущества (над лампами накаливания):

- значительно большая светоотдача (люминесцентная лампа 20 Вт даёт освещённость как лампа накаливания на 100 Вт) и более высокий КПД;
- разнообразие оттенков света;
- рассеянный свет;
- длительный срок службы (2000…20000 ч в отличие от 1000 у ламп накаливания), при условии обеспечения достаточного качества электропитания, балласта и соблюдения ограничений по числу включений и выключений (поэтому их не рекомендуется применять в местах общего пользования с автоматическими включателями с датчиками движения).

К недостаткам относят:

- химическая опасность;
- неравномерный, линейчатый спектр, неприятный для глаз и вызывающий искажения цвета освещённых предметов (существуют лампы с люминофором спектра, близкого к сплошному, но имеющие меньшую светоотдачу);
- деградация люминофора со временем приводит к изменению спектра, уменьшению светоотдачи и как следствие понижению КПД лампы;
- мерцание лампы с удвоенной частотой питающей сети (применение электронной пуско-регулирующей аппаратуры решает эту проблему);

- наличие дополнительного приспособления для пуска лампы – пускорегулирующего аппарата;
- очень низкий коэффициент мощности ламп – такие лампы являются неудачной для электросети нагрузкой (применение дорогих электронной пуско-регулирующей аппаратуры с корректором коэффициента мощности повышает его).

*Разрядные лампы высокого давления***.** Принцип действия таких ламп основан на свечении наполнителя в разрядной трубке под действием дуговых электрических разрядов. При этом используется два основных вида разряда высокого давления – ртутный и натриевый. Натриевые лампы более экономичные, используются прежде всего для уличного освещения.

В 2014 г. Россия подписала конвенцию по ртути, согласно которой, с 2020 г. будет запрещено производство, импорт или экспорт продукта, содержащего ртуть, т.е. лампы общего освещения ртутные высокого давления паросветные, в частности лампы ДРЛ и ДРИ.

Светодиодные лампы. Светодиодные лампы или *светодиодные светильники* в качестве источника света используют светодиоды, и применяются для бытового, промышленного и уличного освещения. Светодиодная лампа является одним из самых экологически чистых источников света. Принцип свечения светодиодов позволяет применять в производстве и работе самой лампы безопасные компоненты. Светодиодные лампы не используют веществ, содержащих ртуть, поэтому они не представляют опасности в случае выхода из строя или повреждения колбы. Различают законченные устройства – светильники и элементы для светильников – сменные лампы.

Преимущество светодиодного светильника по сравнению с лампами накаливания:

- низкое энергопотребление;
- заявленный долгий срок службы от 30000 до 50000 и более часов;
- простота установки;
- более низкая температура корпуса по сравнению с лампой накаливания, имеющей сравнимую яркость;
- высокая механическая прочность;
- полная экологическая безопасность.

Основные недостатки – это более высокая цена; серийные светодиодные лампы большинства производителей по светоотдаче пока уступают светильникам с дуговыми натриевыми трубчатыми лампами низкого и высокого давления; также можно встретить лампы с некачественной системой охлаждения, что резко сокращает срок службы и другие характеристики.

В светодиодных лампах со временем происходит падение яркости из-за выгорания светодиодов. Падение яркости также регламентируется нормативными актами.

Несмотря на недостатки, светодиодные лампы считаются наиболее перспективными источниками света с точки зрения энергоэффективности, практического применения и окупаемости по затратам.

Лампы накаливания являются устаревшими источниками света. Во многих странах принимаются меры по вытеснению ламп накаливания. В России принятый Закон ФЗ-261 об энергосбережении и повышении энергоэффективности с 1 января 2011 г. ввел запрет на использование ламп накаливания мощностью 100 Вт; рассматривается вопрос о запрещении ламп накаливания и меньшей мощности.

Экономия электроэнергии при использовании различных источников света по сравнению с использованием ламп накаливания:

- дуговых ртутных ламп – 45 %;
- люминесцентных ламп (компактных люминесцентных ламп КЛЛ) – 54 %;
- металогалогенных ламп – 65 %;
- натриевых ламп высокого давления – 71 %;
- светодиодных ламп – 80%.

При оценке потребления электрической энергии осветительными и облучательными установками необходимо учитывать их электрическую мощность и время работы.

Максимальная мощность системы освещения – это суммарная мощность ламп. Для люминесцентных и газоразрядных ламп это также еще и мощность затрат в цепи управления.

Мероприятия по энергосбережению в осветительных установках могут быть следующие.

Проверка уровня освещенности на рабочих местах. Нормы освещенности на любых объектах являются научно

обоснованными. В случае завышения норм лампы следует заменить на менее мощные, что позволит уменьшить излишний расход электроэнергии. Экономия в этом случае составит:

$$\Delta W = \left(P_{\text{ф}} - P_{\text{п}}\right) \cdot k_{\text{с}} t_{\text{и}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}, \quad (8.1)$$

где $P_{\text{ф}}$ – фактическая мощность ламп, кВт;

$P_{\text{п}}$ – проектная (требуемая) но нормам освещенности мощность, кВт;

$k_{\text{с}}$ – коэффициент спроса осветительной установки. Для производственных помещений $k_{\text{с}}$=0,98…1,0, для бытовых помещений $k_{\text{с}}$=0,8, для складских помещений $k_{\text{с}}$=0,6;

$t_{\text{и}}$ – время максимума осветительной установки, ч. Для производственных помещений $t_{\text{и}}$=500…800 ч, для мастерских $t_{\text{и}}$=1500 ч, уличного освещения – $k_{\text{с}}$=1200 ч.

Своевременная замена изношенных ламп до выхода их из строя. Световой поток ламп к концу срока службы значительно снижается в следующих соотношениях: на 15 % у ламп накаливания; на 40…45 % у люминесцентных ламп с электромагнитным пуско-регулирующим устройством, на 15 % у люминесцентных ламп с электронным пуско-регулирующим устройством, у ламп ДРЛ на 30 %. С учетом уменьшения светового потока ламп за их срок службы и низкого уровня эксплуатации осветительных установок, при проектировании часто завышается установленная мощность осветительных приборов в 1,5…2 раза. Поэтому целесообразно определять полезный срок службы ламп и к концу срока службы проводить их групповую замену.

Поддержание номинального напряжения в осветительной сети. Допустимые отклонения напряжения на выводах ламп согласно ГОСТ должны быть в пределах от –2,5 % до +5% номинального напряжения. При уменьшении питающего напряжения на 1 % световой поток ламп накаливания снижается на 16,4 %, люминесцентных ламп – на 20 %, дуговых ртутных ламп – на 2,2 %. Повышение напряжения в электрической сети на 10 % приводит к увеличению потребляемой мощности на 16,4 % лампами накаливания, на 20 % люминесцентными лампами, лампами ДРЛ – на 24 %. При этом значительно уменьшается срок их службы.

Отключение части светильников. В производственных и общественных помещениях должно обеспечиваться отключение ряда осветительных приборов, расположенных параллельно окнам, что может дать снижение расхода энергии на 5…10 %. В помещениях с естественным и искусственным освещением рекомендуется

производить включение и выключение отдельных групп осветительных приборов в зависимости от уровня освещенности естественного освещения, отключать источники света в дневное время.

Автоматизация уличного освещения. Это один из наиболее эффективных способов экономии электроэнергии. Автоматизация уличного освещения – это целый комплекс мероприятий, который может обладать следующими функциями:

- включение/выключение освещения согласно графику, в автоматическом режиме при срабатывании датчика или по сигналу диспетчера. Очень часто в ночное время на пустых улицах спального района не требуется постоянное освещение. В таком случае идеальный вариант – это комплектация каждого источника света специальными датчиками, которые реагируют на движение и включают свет на определенный промежуток времени;
- контроль работоспособности линии. При возникновении повреждений автоматика подает диспетчеру сигнал с указанием конкретного места неисправности. Это существенно уменьшает время на устранение поломки и снижает затраты на выезд ремонтной бригады;
- уменьшение нагрузки на ближайшую подстанцию. Автоматика позволит рассчитать необходимый уровень потребления электроэнергии и равномерно распределить нагрузку на сеть.

Благодаря этим функциям система с автоматизированным управлением поможет решить несколько актуальных задач, связанных с экономией электроэнергии и оптимизацией ее расходов.

Для автоматизации управления уличным освещением используют фотореле, которые могут входить в автоматизированные системы управления наружным освещением (АСУНО).

Определение экономии электроэнергии при автоматизации управления уличным освещением:

$$\Delta W = P(t_1 - t_2), \text{кВт} \cdot \text{ч}, \qquad (8.2)$$

где P – мощность светильников уличного освещения, кВт;

$(t_1 - t_2)$ – сокращение рабочего времени уличного освещения, ч.

Экономия электроэнергии при этом может достигать 10…15 %.

Пример 8.1. Определить экономию электроэнергии от замены светильников с 10 лампами накаливания мощностью по 40 Вт на светодиодные лампы при сохранении значения общего светового

потока, в производственном помещении, если коэффициент спроса равен 0,8, время максимума осветительной нагрузки – 500 ч.

Решение. Анализ характеристик источников света показывает, что лампа накаливания мощностью 40 Вт имеет световой поток 420 лм, что соответствует световому потоку одной светодиодной лампы мощностью 3,6 Вт. Экономия в этом случае составит:

$$\Delta W = (10 \cdot 40 - 10 \cdot 3{,}6) \cdot 0{,}8 \cdot 500 = 145{,}6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Пример 8.2. Определить экономию электроэнергии при переходе с ручного управления уличным освещением на автоматическое, если мощность осветительной нагрузки освещения составляет 21,3 кВт, а время использования осветительной нагрузки удалось сократить с 4400 до 2900 ч в год.

Решение. Экономия электроэнергии составит:

$$\Delta W = 21{,}3(4400 - 2900) = 31950 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Задание 1. Определить стоимость экономии электроэнергии от замены светильников с 12 лампами накаливания мощностью по 60 Вт на компактные люминесцентные лампы при сохранении значения общего светового потока, в складском помещении. Коэффициент спроса равен 0,98, время максимума осветительной нагрузки – 1000 ч. Цена 1 кВт·ч электроэнергии – 7 руб.

Задание 2. Определить стоимость экономии электроэнергии при переходе с ручного управления уличным освещением на автоматическое, если мощность осветительной нагрузки – 15 кВт, а время использования осветительной нагрузки сокращается с 3900 до 2200 ч в год. Цена 1 кВт·ч электроэнергии – 7 руб.

Контрольные вопросы

1. Приведите сравнительный анализ различных источников света.
2. Перечислите преимущества светодиодных светильников.
3. Как отклонение напряжения на выводах ламп влияет на их работу?
4. Как определить экономию электрической энергии при замене источников света на более эффективные?
5. Какие функции выполняет автоматизация уличного освещения?

Практическая работа № 9

Экономия электроэнергии в технических установках

Цель работы: ознакомиться с основными направлениями экономии электроэнергии в технических установках.

Общепромышленные технические установки, которые используются на предприятиях АПК – это насосы, вентиляторы, компрессоры, подъемно-транспортное, сварочное оборудование.

Насосные установки.

Насосные установки используются в системах водоснабжения.

Мощность электродвигателя насоса определяется по формуле:

$$P = \frac{kQH\gamma}{3600 \cdot 102\eta_{\text{Н}}\eta_{\text{П}}}, \text{кВт}, \qquad (9.1)$$

где Q – подача насоса, м^3/ч;

k – коэффициент запаса мощности электродвигателя (при $Q \leq 100$ м^3/ч k = 1,2…1,3, при $Q \geq 100$ м^3/ч k = 1,1…1,5);

H – полный напор с учетом высоты всасывания, м;

$\eta_{\text{н}}$ – КПД насоса, %;

$\eta_{\text{п}}$ – КПД передачи, %;

γ – плотность жидкости, кг/м^3.

Удельный расход электроэнергии для любого режима работы насоса:

$$\Delta w = \frac{1000H}{3600 \cdot 102\eta_{\text{н}}\eta_{\text{п}}} = 0{,}00272\frac{H}{\eta_{\text{н}}\eta_{\text{п}}} \text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3, \qquad (9.2)$$

где H – действительный напор, развиваемый насосом при данном режиме, м.

Общий КПД насоса зависит как от состояния насоса, так и от его режима работы. Обычно КПД центробежных насосов составляет 0,4…0,7 для насосов низкого напора; 0,5 для насосов среднего напора; порядка 0,6…0,8 для насосов высокого напора. Насосы новых конструкций имеют КПД до 0,9. Такое высокое значение КПД обеспечивается благодаря минимальным зазорам.

Значение КПД поршневого насоса колеблется от 0,6 до 0,9 в зависимости от размеров, типа, состояния насоса и типа передачи.

Снижение расхода электроэнергии на насосных установках

достигается за счет следующих мероприятий:

- повышения КПД насосов;
- улучшения загрузки насосов и совершенствование регулирования их работы;
- уменьшения сопротивления трубопроводов;
- сокращения расхода и потерь воды.

Повышение КПД насосов. Первый путь – замена устаревших малопроизводительных насосов насосами с высоким КПД. Расчет экономии электроэнергии в данном случае производится по следующей формуле:

$$\Delta W = 0{,}00272\frac{HQt}{\eta_д(\eta_н^{"} - \eta_н')}, \text{кВт} \cdot \text{ч}, \qquad (9.3)$$

где H – напор, м;

Q – действительная подача насоса, м^3/ч;

t – число часов работы насоса в год, ч;

$\eta_д$ – КПД электродвигателя;

$\eta_н^{"}, \eta_н'$ – КПД нового и заменяемого насоса, соответственно.

Второй путь – повышение КПД насосов до паспортных значений. Качественный ремонт насосов, тщательная балансировка рабочих колес, свежие уплотнения обеспечивают поддержание КПД насосов на уровне паспортных и обеспечивают минимальные удельные расходы электроэнергии на подачу воды.

Третий путь – улучшение загрузки насосов. Наименьший удельный расход электроэнергии на подачу воды наблюдается при максимальной подаче насоса.

Вентиляторы.

Сокращение расхода возможно за счет внедрения следующих мероприятий:

- замена старых вентиляторов новыми, более экономичными;
- внедрение экономичных способов регулирования производительности вентиляторов;
- блокировка вентиляторов тепловых завес с устройствами открывания и закрывания ворот;
- отключение вентиляционных установок во время обеденных перерывов, пересменок и т.д.;
- устранение эксплуатационных дефектов и отклонений от проекта;

- внедрение автоматического управления вентиляционными установками.

Годовой расход электроэнергии на привод вентиляторов определяется расчетным путем по установленной мощности двигателей:

$$W_{\text{вент}} = \sum_{1}^{n} k_{\text{и}} P_{\text{уст}} \tau, \text{кВт} \cdot \text{ч}, \quad (9.4)$$

где n – количество вентиляционных установок на предприятии;

$P_{\text{уст}}$ – установленная мощность электродвигателя (по паспортным данным), кВт;

τ – продолжительность работы вентилятора в течение года, ч;

$k_{\text{и}}$ – коэффициент использования вентилятора. $k_{\text{и}}$ для разных типов вентиляторов приведены в таблице 9.2.

Таблица 9.2

Коэффициент использования вентиляторов

№	Электроприемники	$k_{\text{и}}$
1	Вентиляторы	0,6-0,8
2	Вентиляторы высокого давления	0,75
3	Вентиляторы и дробилки	0,4-0,5
4	Газодувки	0,5-0,6

Замена вентиляторов старых типов на современные. Замена вентиляторов старых типов с низким КПД вентиляторами нового типа дает следующую экономию электроэнергии:

$$\Delta W = \frac{hQt(\eta_2 - \eta_1)}{10^3 \eta_1 \eta_{\text{ном}} \eta_{\text{с}}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}, \quad (9.5)$$

где t – время работы вентилятора, ч;

h – давление, обеспечиваемое вентилятором, Па;

Q – подача вентилятора, м^3/ч;

η_1, η_2, $\eta_{\text{ном}}$, $\eta_{\text{с}}$ – КПД заменяемого, устанавливаемого вентиляторов, электродвигателя и сети соответственно.

Внедрение экономичных способов регулирования производительности вентиляторов. Значительные сокращения расхода электроэнергии вентиляторами обеспечивают следующие мероприятия:

- применение многоскоростных электродвигателей вместо регулирования шиберами в напорной линии вентиляционной установки. Экономия энергии при этом составляет 20…30 %;

- регулирование подачи воздуходувок шиберами на всасывании вместо регулирования на нагнетании дает экономию электроэнергии до 15 %;
- регулирование вытяжной вентиляции шиберами на рабочих местах вместо регулирования на нагнетании дает экономию электроэнергии до 10 %.

Блокировка вентиляторов тепловых завес с устройствами открывания и закрывания ворот. Для сокращения расхода электроэнергии на привод вентиляторов тепловых завес в большинстве случаев рекомендуется сблокировать механизм тепловой завесы с устройствами открывания и закрывания ворот. Когда ворота открываются, автоматически включается тепловая завеса, а при закрывании ворот завеса отключается.

Улучшение работы вентилятора. Потери электроэнергии в вентиляторной установке можно снизить за счет изменения числа оборотов вала, угла установки лопаток на рабочем колесе, поворотом лопаток направляющего аппарата и т.д.

Внедрение автоматического управления вентиляционными установками. Заключается в следующем:

- устройство блокировки индивидуальных вытяжных систем снижает расход электроэнергии на 25…30%;
- устройство блокировки вентилятора воздушных завес с механизмом открывания ворот может дать экономию электроэнергии до 70%;
- устройство автоматического регулирования и управления вентиляционными установками в зависимости от температуры наружного воздуха дает экономию электроэнергии 10…15%.

Часто вентиляторы работают в составе *электрокалориферных установок*. Общий расход электроэнергии определяется по формуле:

$$W = t\left(\frac{Y_{\text{н.э}}}{3600\eta_{\text{к}}} + P_{\text{ном}}\right), \text{кВт} \cdot \text{ч}, \qquad (9.6)$$

где $Y_{\text{н.э}}$ – теплопроизводительность нагревательных элементов установки, кДж/ч;

$\eta_{\text{к}}$ – КПД электрокалорифера. В обогреваемых помещениях $\eta_{\text{к}}$=1, в подсобных помещениях $\eta_{\text{к}}$=0,95…0,97;

$P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность электродвигателя вентилятора, кВт;

t – продолжительность работы электрокалорифера, ч.

При использовании электрокалориферных установок добиться снижения количества потребляемой электроэнергии можно не только выбором эффективного вентиляционного оборудования, но и также улучшением теплоизоляции помещений и систем подачи воздуха, что позволит сократить время работы установок.

Компрессоры.

Повышение эффективности использования компрессорного оборудования (чаще всего используются поршневые компрессоры) связано с совершенствованием конструкции самих агрегатов и рациональным распределением, транспортировкой и использованием сжатого воздуха.

Годовая экономия электроэнергии при замене компрессора старой конструкции на новый более эффективный составит:

$$\Delta W = t(P_{\text{ст}} - P_{\text{нов}}), \text{кВт} \cdot \text{ч}, \quad (9.7)$$

где $P_{\text{ст}}$ и $P_{\text{нов}}$ – мощность компрессоров, соответственно, старой и новой конструкции, кВт;

t – время работы компрессора в течение года, ч.

Одним из возможных путей сокращения расхода сжатого воздуха и экономии электроэнергии является его подогрев после компрессора.

Годовая экономия электроэнергии при этом составит:

$$\Delta W = 0{,}22Q\Delta\theta wt, \text{кВт} \cdot \text{ч}, \quad (9.8)$$

где Q – расход сжатого воздуха, м^3/мин;

$\Delta\theta$ – разность температур до и после устройства теплоизоляции воздухопровода, ℃;

w – удельный расход электроэнергии на выработку 1 м^3 сжатого воздуха, кВт·ч/м^3;

t – время работы компрессора в течение года, ч.

Сварочные установки.

Удельный расход электроэнергии при дуговой электросварке определяется по формуле:

$$\Delta W = k_{\text{х}} \frac{U}{k_{\text{нп}}\eta}, \text{кВт} \cdot \text{ч}, \quad (9.9)$$

где $k_{\text{х}}$ – коэффициент, учитывающий потери холостого хода источника питания. При сварке на переменном токе и отключении его на холостом ходу $k_{\text{х}}$=1, при сварке на постоянном токе $k_{\text{х}}$=1,14;

U – напряжение сварочной дуги, В;

$k_{\text{нп}}$ – коэффициент наплавки. При сварке на переменном токе $k_{\text{нп}}$=6…8 кг/кА·ч;

η – КПД источника питания.

Мероприятия по рациональному использованию электросварочного оборудования:

- перевод сварочных установок с постоянного на переменный ток;
- замена ручной дуговой сварки на механизированную или автоматизированную (где это возможно);
- внедрение схем ограничения холостого хода сварочных трансформаторов и преобразователей;
- правильный выбор электродов;
- выбор сварочного тока в зависимости от диаметра и материала электрода, контроль режима сварки по приборам;
- предварительная очистка поверхностей свариваемых деталей от окалины, ржавчины, грязи; систематическая проверка контактов и качественный ремонт сварочного оборудования;
- выбор сварочных проводов, соответствующих реальной нагрузке.

Пример 9.1. Определить экономию электроэнергии от замены водяного насоса, имеющего подачу 40 м^3/ч, напор 20 м, КПД 20 %, на насос, имеющий подачу 36,4 м^3/ч, напор 15,9 м, КПД 50,2 %. Длительность расчетного периода принять равной 1 год, КПД электродвигателя – 85 %.

Решение. Определим экономию электроэнергии по формуле (9.3):

$$\Delta W = 0{,}00272 \cdot \frac{36{,}4 \cdot 15{,}9 \cdot 8760}{0{,}85(0{,}502 - 0{,}200)} = 53721 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Пример 9.2. Определить годовую экономию электроэнергии при снижении продолжительности работы электрокалорифера с 2000 до 1500 ч в год за счет улучшения теплоизоляции отапливаемого помещения. Теплопроизводительность калорифера 55000 кДж/ч, мощность нагревателя 16 кВт, мощность электродвигателя вентилятора 11 кВт, КПД установки 1,0.

Решение. Определим годовой расход электроэнергии при использовании воздухоподогревателя без проведения технических мероприятий по экономии электроэнергии:

$$W_1 = 2000 \cdot \left(\frac{55000}{3600 \cdot 1} + 11\right) = 52555 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Годовой расход после проведения мероприятий по сокращению теплопотерь:

$$W_2 = 1500 \cdot \left(\frac{55000}{3600 \cdot 1} + 11\right) = 39416 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Годовая экономия электроэнергии:

$$\Delta W = W_1 - W_2 = 52555 - 39416 = 13139 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Пример 9.3. Определить экономию электроэнергии при работе компрессора в случае подогрева сжатого воздуха, идущего к пневмотранспорту, теплотой отходящих газов, с 10 до 30 ℃ при Q=5 м^3/мин, t=1000 ч в год, w=0,1кВт·ч/м^3.

Решение. Годовая экономия электроэнергии:

$$\Delta W = 0{,}22 \cdot 5 \cdot 20 \cdot 0{,}1 \cdot 1000 = 2200 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Задание 1. Определить стоимость экономии электроэнергии от замены насоса, имеющего подачу 38 м^3/ч, напор 22 м, КПД 30 %, на насос, имеющий подачу 37,2 м^3/ч, напор 15,9 м, КПД 52 %. Расчетный период – 0,5 года, КПД электродвигателя – 89 %. Цена 1 кВт·ч электроэнергии – 7 руб.

Задание 2. Определить годовую стоимость экономии электроэнергии при снижении продолжительности работы электрокалорифера с 2500 до 1800 ч в год за счет улучшения теплоизоляции отапливаемого помещения. Теплопроизводительность калорифера 66000 кДж/ч, мощность нагревателя 22 кВт, мощность электродвигателя вентилятора 7,5 кВт, КПД установки 1,0. Цена 1 кВт·ч электроэнергии – 7 руб.

Контрольные вопросы

1. Перечислите мероприятия, направленные на снижение расхода электроэнергии насосными установками.
2. За счет каких мероприятий можно сократить расход электроэнергии при использовании вентиляторов?
3. Как определяется годовая экономия электроэнергии при замене компрессора старой конструкции на новое более эффективное?
4. Какими путями можно повысить эффективность использования электрокалориферных установок?
5. Перечислите возможные мероприятия по рациональному использованию электросварочного оборудования.

Практическая работа № 10

Энергоэффективность бытовых электрических устройств

Цель работы: изучить классификацию основных бытовых электрических устройств по энергоэффектитвности.

Согласно статье 10 «Обеспечение энергетической эффективности при обороте товаров» Федерального закона от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» производимые на территории Российской Федерации и импортируемые для оборота на ее территории бытовые энергопотребляющие устройства должны содержать информацию о *классе* их *энергетической эффективности* в технической документации, прилагаемой к этим товарам, в их маркировке и на их этикетках. Маркировке подлежит также компьютерная и оргтехника.

Класс энергоэффективности – это характеристика продукции, отражающая ее энергетическую эффективность. Класс энергоэффективности рассчитывается для каждого вида прибора на основе разных параметров.

Обязательной маркировке подлежат холодильные и морозильные установки, стиральные и сушильные агрегаты, посудомойки, варочные панели, духовки, кондиционеры, водонагреватели и т.д.

Класс энергоэффективности определяется *индексом энергоэффективности* (EEI), который рассчитывается для каждого вида прибора на основе разных параметров.

Класс энергоэффективности отражается на этикетке, наклеенной на товар (или вложенной в документы) и обозначается буквой и цветом (рис. 10.1). Буквенная характеристика – это одна из латинских букв от «A» до «G». «A» – самый лучший уровень, «G» – наименее экономичная модель. Некоторые устройства могут маркироваться «A+», «A++» или «A+++» – это классы еще выше, чем «A». Литеру изображают на фоне от зеленого до красного: чем холоднее цвет, тем лучше. Наивысшему классу энергоэффективности соответствует самый темный зеленый оттенок.

Рис. 10.1. Класс энергосбережения бытовой техники – от A до G

Присвоение класса энергопотребления техники зависит от типа прибора, т.е. нельзя сравнивать уровень энергоэкономичности холодильника и, например, кондиционера: при аналогичной маркировке они могут иметь разные показатели энергозатрат.

Буквы C, D, E, F, G показывают самый низкий класс энергосбережения.

Классы энергоэффективности холодильников.

Холодильники и морозильные камеры обозначают от «A+++» до «G». Класс определяется по *индексу энергоэффективности*, вычисляемому как отношение фактических энергозатрат к номинальным. Например, классу энергопотребления «A+++» соответствует индекс менее 22, а «G» – свыше 150 (табл. 10.1). Индекс энергоэффективности указывает, какую долю от некоего среднего значения потребляемой холодильником энергии (подсчитанного опытным путем) потребляет конкретный прибор.

Таблица 10.1

Энергоэффективность холодильников

Класс энергоэффективности	Индекс энергоэффективности
A+++	<22
A++	22…33
A+	33…42
A	42…55
B	55…75
C	75…95
D	95…110
E	110…125
F	125…150
G	>150

Например, класс энергопотребления холодильника А соответствует индексу 42…55. Значит, холодильник класса А потребляет не больше 42…55% от усредненного значения потребляемой энергии, т.е. в сравнении с усредненными данными холодильники высокого класса потребляют в 5-6 раз меньше энергии, а холодильники последнего класса – в полтора раза больше. При этом существенная разница в расходе электроэнергии существует даже между классами энергетической эффективности «А+++» и «А»: классу «А» соответствует индекс 42…55, т.е. устройство класса «А+++» тратит в два раза меньше электроэнергии, чем модель класса «А».

Наклейка, помимо маркировки класса энергоэффективности (1) (рис. 10.2), также содержит сведения о бренде и модели (2); годовом расходе электроэнергии, кВт·ч (3) и др.

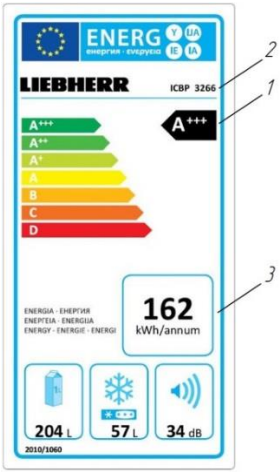


Рис. 10.2. Наклейка на холодильник и содержащаяся в ней информация

Класс энергоэффективности стиральных машин.

Стиральным машинам присваиваются классы энергетической эффективности от «А+++» до «D» (табл. 10.2). Класс энергопотребления машинок определяется по тому, сколько электроэнергии (в киловатт-часах) уходит на обработку белья при полной и частичной загрузке, а также при разных температурах в общем за год, предполагая, что полных циклов устройство проходит 220. Для определения класса энергетической эффективности соотносится фактическая и взятая за стандарт затрата ресурсов.

Таблица 10.2

Энергоэффективность стиральных машин

Класс энергоэффективности	Индекс энергоэффективности
A+++	<46
A++	46…52
A+	52…59
A	59…68
B	68…77
C	77…87
D	>87

Помимо класса энергетической эффективности (1) (рис. 10.3), наклейка на стиральной машине содержит: бренд и модель (2); годовые энергозатраты, кВт·ч (3); годовые затраты воды, л (4); класс отжима (и сушки, если предусмотрена), от «A» до «G» (5) и др.

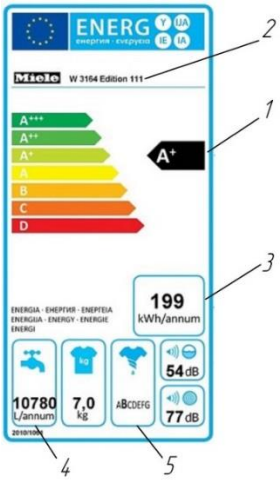


Рис. 10.3. Наклейка стиральной машины

Класс энергоэффективности кондиционеров.

Класс энергопотребления кондиционера отражает отдельные коэффициенты охлаждения (EER) и нагрева (COP) (табл. 10.3), определяющиеся как количество холода или тепла, вырабатываемое при расходовании прибором одного киловатта электричества в нормальных условиях при 100% нагрузке. Т.е., коэффициенты показывают, во сколько раз производимая кондиционером мощность охлаждения или нагрева больше потребляемой мощности.

Таблица 10.3

Энергоэффективность кондиционеров

Класс энергоэффективности	Индекс энергоэффективности EER (охлаждение)	Индекс энергоэффективности COP (отопление)
A	>3,2	>3,6
B	3,0…3,2	3,4…3,6
C	2,8…3,0	3,2…3,4
D	2,6…2,8	2,8…3,2
E	2,4…2,6	2,6…2,8
F	2,2…2,4	2,4…2,6
G	<2,2	<2,4

Классу энергетической эффективности кондиционера «А» отвечают цифры свыше 3,2 и свыше 3,6 кВт соответственно. Кондиционеры низшего класса «G» – менее 2,2 и 2,4 кВт.

По наклейке, помимо класса энергопотребления, можно узнать: бренд и код модели; тип кондиционера и способ охлаждения; годовой или почасовой расход энергии при предельных нагрузках, кВт; мощность нагрева и охлаждения, кВт; сезонные коэффициенты энергетической эффективности и др.

Классы энергоэффективности телевизоров.

Энергоэффективность телевизоров также определяется как соотношение расхода энергии конкретной модели и усредненного значения (табл. 10.4).

Таблица 10.4

Энергоэффективность телевизоров

Класс энергоэффективности	Индекс энергоэффективности
A+++	<10
A++	<16
A+	<23
A	<30
B	<42
C	<60
D	<80
E	<90
F	<100
G	>100

Расчет использует соотношение потребляемой мощности к площади дисплея. Мощность, в свою очередь, складывается из мощности, потребляемой прибором в режимах работы и автономного использования. Классы «А» с плюсами для телевизоров

только начали вводить: «А+» появился в 2014 г., «А++» в 2017 г., а «А+++» должен войти в 2020 г. Кроме класса энергопотребления (1) (рис. 10.4), наклейка на телевизоре информирует о производителе и модели (2); расходе энергии в рабочем режиме, Вт (3); годовом расходе энергии из расчета работы по 4 ч в день, кВт·ч (4) и др.

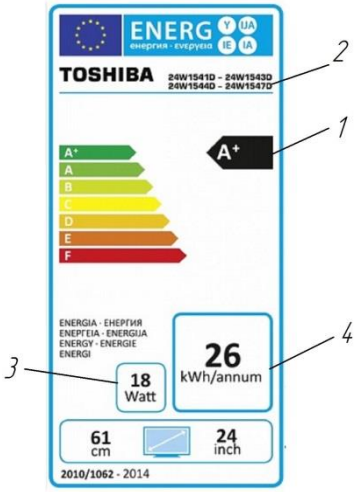


Рис. 10.4. Наклейка на телевизор

Энергоэффективность источников света.

Маркировка энергоэффективности источников света имеет семь классов (табл. 10.5).

Таблица 10.5

Энергоэффективность источников света

Класс энергоэффективности	Индекс энергоэффективности для ненаправленных источников света	Индекс энергоэффективности для направленных источников света
A++	≤ 0,11	≤ 0,13
A+	0,11…0,17	0,13…0,18
A	0,17… 0,24	0,18…0,40
B	0,24…0,60	0,40…0,95
C	0,60…0,80	0,95…1,20
D	0,80…0,95	1,20…1,75
E	> 0,95	> 1,75

Можно разделить классы ламп по видам следующим образом:

- люминесцентные, светодиодные – A и B;
- галогенные – C и D;
- лампы накаливания – E, F и G.

Индекс энергоэффективности источников света вычисляется по формуле:

$$EEI = \frac{P_{\text{ном}}}{P_{\text{расч}}}, \quad (10.1)$$

где $P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность источника света, измеряемая при номинальном входном напряжении, Вт;

$P_{\text{расч}}$ – расчетная мощность, Вт.

При условии, что полезный световой поток <1300 лм:

$$P_{\text{расч}} = 0{,}88\sqrt{\Phi_{\text{пол}} + 0{,}049\Phi_{\text{пол}}}, \quad (10.2)$$

где $\Phi_{\text{пол}}$ – полезный световой поток, лм.

Если $\Phi_{\text{пол}} \geq 1300$ лм, то расчетную мощность определяют по формуле:

$$P_{\text{расч}} = 0{,}07341\Phi_{\text{пол}}. \quad (10.3)$$

Таким образом, зная показатель энергоэффективности бытового электроприбора, можно приобрести более экономичную продукцию и, тем самым, существенно сократить расходы на оплату электроэнергии.

Задание. Изучить классификацию основных бытовых электрических устройств по энергоэффектитвности.

Контрольные вопросы

1. Чем определяется класс энергоэффективности бытовых приборов?
2. Как рассчитывается индекс энергоэффективности?
3. Как определяется класс энергоэффективности холодильников?
4. Как определяется класс стиральных машин?
5. Как определяется энергоэффективность источников света?

Практическая работа № 11

Энергоаудит и энергетическое обследование предприятий

Цель работы: изучить основные требования к проведению энергетического обследования и энергоаудита, составу и оформлению энергетического паспорта объекта.

Основная идея Федерального закона № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» – повышение энергетической эффективности экономики. Одним из таких инструментов повышения энергетической эффективности, предусмотренной в законе, является *энергетическое обследование* и *энергетический аудит* (*энергоаудит*).

Существует разница между этими процедурами. *Энергетическое обследование* завершается составлением отчета об энергетическом обследовании и написанием *программы энергосбережения* без составления *энергетического паспорта* объекта. По желанию заказчика может быть составлен энергетический паспорт объекта, но без регистрации в Минэнерго.

Энергоаудит: составляется отчет об энергоаудите и энергетический паспорт объекта, которые проходят экспертизу в саморегулирующей организации (СРО) и регистрацию паспорта объекта в Минэнерго.

В обоих случаях производится сбор, обработка и анализ информации об использовании энергетических ресурсов. В ходе оценки не только анализируется текущий объем используемых энергетических ресурсов, но и выявляются возможности энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Полученные в ходе оценки результаты отражаются в энергетическом паспорте.

В соответствии с российским законодательством, энергетическое обследование обязательно для ряда организаций. Однако у любого предприятия, менеджмент которого понимает необходимость рационального использования ресурсов, есть право делать энергетическое обследование в добровольном порядке.

В соответствии с Федеральным законом № 261-ФЗ оно должно быть проведено в обязательном порядке, согласно которому

проведение энергетического обследования является обязательным для следующих лиц:

- органы государственной власти, органы местного самоуправления, наделенные правами юридических лиц;
- организации с участием государства или муниципального образования;
- организации, осуществляющие регулируемые виды деятельности;
- организации, осуществляющие производство и (или) транспортировку воды, природного газа, тепловой энергии, электрической энергии, добычу природного газа, нефти, угля, производство нефтепродуктов, переработку природного газа, нефти, транспортировку нефти, нефтепродуктов;
- организации, совокупные затраты которых на потребление природного газа, дизельного и иного топлива, мазута, тепловой энергии, угля, электрической энергии превышают десять миллионов рублей за календарный год;
- организации, проводящие мероприятия в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, финансируемые полностью или частично за счет средств федерального бюджета, бюджетов субъектов Российской Федерации, местных бюджетов.

Указанные организации обязаны проводить энергетическое обследование не реже чем один раз в пять лет.

По результатам энергоаудита составляется *энергетический паспорт* в соответствии с Приказом Минэнерго от 19.04.2010 г. № 182. Это строго регламентированная табличная форма, содержащая 24 приложения. К энергетическому паспорту прилагается отчет по результатам энергетического обследования, в котором дается анализ потребления энергоресурсов, описан порядок расчета приведенных в энергопаспорте показателей и обосновываются предложенные мероприятия по энергосбережению.

Энергетический паспорт объекта.

Порядок разработки энергетического паспорта объекта регламентируют своими приказами Министерство энергетики России (№ 182 от 19.04.2010 г.) и Министерство регионального развития России (№ 262 от 28.05.2010 г.).

Энергетический паспорт является сводом основной информации по достоверному фактическому объему потребляемых энергоресурсов, по показателям эффективности использования энергоносителей и возможностям ее повышения. Энергопаспорт составляется применительно к зданиям, строениям, сооружениям различного назначения, энергетическому оборудованию, технологическим процессам и другим составляющим объекта. Он является результатом мероприятий по энергетическому обследованию и составляется каждый раз при проведении обязательных исследований, то есть раз в пять лет.

В состав энергопаспорта включаются:

- основные данные об энергохозяйстве объекта, его топливно-энергетический баланс;
- данные о коммерческом и техническом учете;
- информация, характеризующая используемые системы энергоснабжения, удельные показатели энергоемкости используемого оборудования;
- характеристика основного оборудования с указанием даты выпуска, КПД, интенсивности работы в году прочие сведения;
- рекомендуемые мероприятия типового и индивидуального характера по энергосбережению с подробным планом их внедрения.

К энергетическому паспорту обязательно прилагается разработанная аудитором *программа по энергосбережению* и *повышению энергоэффективности*. Она составляет приложения № 20 и № 21 энергопаспорта, а также подробный отчет об энергетическом обследовании.

Задание. Ознакомиться с примером энергетического паспорта предприятия. Выписать основные данные в табличной форме, касающиеся сведений об оснащенности приборами учета; сведений о потреблении энергетических ресурсов и его изменениях; сведений по балансу электрической энергии и его изменениях; потенциала энергосбережения и оценки возможной экономии энергетических ресурсов.

Контрольные вопросы

1. В чем основные отличия между энергоаудитом и энергетическим обследованием?
2. Какие организации должны проходить энергоаудит в обязательном порядке?
3. Какие мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности относят к малозатратным и среднезатратным?
4. Какие мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности относят к долгосрочным?
5. Что включается в состав энергопаспорта?

Практическая работа № 12

Энергетическое обследование электроустановок

Цель работы: ознакомиться с программой и методикой проведения энергетического обследования электроустановок с целью экономии электроэнергии.

Цель *энергетического обследования* – оценка эффективности использования электроэнергии на предприятии и разработка рекомендаций по сокращению затрат на ее использование.

Программа проведения обследования.

Программа проведения обследования включает следующие этапы.

1. Проведение экспресс-обследования.
2. Анализ выполнения ранее разработанных рекомендаций по экономии электроэнергии.
3. Составление плана проведения обследования.
4. Решение организационных вопросов.
5. Проведение инструментального обследования.
6. Обработка полученных результатов.
7. Разработка рекомендаций по энергосбережению.
8. Составление плана организационно-технических мероприятий по экономии электроэнергии на объекте.
9. Расчет экономической эффективности от реализации мероприятий по энергосбережению.

Методика проведения экспресс-обследования.

1. Визуальный осмотр электроустановок, технологического оборудования и технических систем, беседы с обслуживающим персоналом.

При внешнем осмотре выполняется:

- оценка технического состояния оборудования, уточнение режимов его работы;
- выявление степени надежности электроснабжения;
- определение возможных последствий перерывов электроснабжения.

2. Сбор необходимой первичной информации по производственной и энергетической деятельности предприятия.

Собираются следующие документы:

- описание системы электроснабжения объекта: схема внешнего электроснабжения, распределительных сетей, соответствие схемы категории надежности электроснабжения;
- данные по объему выпускаемой продукции;
- договорные документы с энергоснабжающей организацией;
- данные по системам учета электроэнергии;
- действующие нормы, тарифные планы и цены на электроэнергию.

Дополнительно собираются и должны быть учтены:

- данные приборов учета, счета поставщиков электроэнергии, суточные, недельные, месячные графики потребления электроэнергии;
- состав электроэнергии по направлениям (система освещения, производственные помещения и т.д.) с указанием количества и мощности;
- технические и энергетические характеристики технологического оборудования и технических систем;
- сведения об источниках электроснабжения предприятия, трансформаторных подстанциях и др.

3. Анализ энергоэкономических показателей предприятия по направлениям:

- состояние системы учета электроэнергии (способы учета; форма получения, обработки и предоставления информации; контроль расходования электроэнергии по цехам, участкам и энергоемким процессам; соответствие схемы учета и трансформаторов тока системы учета электроэнергии проектам; своевременность метрологической поверки приборов учета);
- анализ договоров предприятия с энергоснабжающей организацией на соответствие договоров действующим нормативным документам, границ балансовой принадлежности электроустановок и т.д.;
- состояние нормирования потребления электроэнергии на предприятии;
- участие организации в регулировании графика электрических нагрузок энергосистемы;

- анализ электропотребления на предприятии (определение суточных и сезонных колебаний электропотребления; оценка энергоэффективности используемого оборудования);
- тарифные планы энергоснабжающей организации и возможность их изменения в целях экономии электроэнергии;
- система мониторинга электропотребления (своевременность снятия показаний приборов учета и оплаты электроэнергии; объем коммерческих потерь, мероприятия по борьбе с хищениями электроэнергии).

4. Формирование первоочередных задач в области энергосбережения.

Формулируется перечень проблем и нерешенных задач для повышения эффективности использования электроэнергии на предприятии. Определяется необходимый объем инструментальных обследований для обоснования и выработки рекомендаций по экономии электроэнергии.

Методика проведения инструментального обследования.

Инструментальные методы исследования – это исследования с применением различных аппаратов, приборов и инструментов.

При энергетическом обследовании инструментальное обследование необходимо для получения полной информации, которая не может быть получена при изучении документов.

Предприятие делится на системы или объекты, которые необходимо по возможности исследовать комплексно.

В сельскохозяйственном предприятии это:

- системы электроснабжения;
- осветительные установки;
- силовые электроустановки.

Системы электроснабжения. В системы электроснабжения входят понижающие подстанции, электрические сети напряжением до 1000 В и выше.

Основные характеристики, подлежащие оценке – это графики активной и реактивной энергии; показатели качества электроэнергии.

При инструментальном обследовании в системах электроснабжения измеряют параметры:

- расходы активной и реактивной энергии на вводах в организацию и вводах отдельных зданий, через каждый час в течение суток;
- показатели качества электроэнергии на вводах в здание, в течение суток;
- токи нагрузки электрических сетей, трансформаторов и электроприемников (в течение 1 ч в период максимума нагрузок);
- время включения и выключения электроприемников в течение суток.

Графиком нагрузки называется изменение нагрузки во времени (по току $I=f(t)$; по активной мощности $P=f(t)$; по реактивной мощности $Q= f(t)$). Бывают индивидуальные и групповые графики нагрузки. Индивидуальные графики нагрузки создаются отдельными электроприемниками, групповые – группой. При проведении энергетического обследования необходима запись как индивидуальных, так и групповых графиков.

Индивидуальные графики. По индивидуальным графикам определяют загрузку электроприемников, их использование по времени, коэффициент мощности; по групповым – характер изменения нагрузки в течение суток, коэффициент использования, средние и максимальные значения нагрузок, среднесуточный коэффициент мощности и др. показатели.

Для получения характеристик отдельных электроприемников необходимо записать 10…20 циклов их работы. Определяют следующие параметры.

- Коэффициент загрузки:

$$k_{\text{з}} = \frac{P_{\text{с.в}}}{P_{\text{ном}}}, \tag{12.1}$$

где $P_{\text{с.в}}$ – средняя за время включения активная нагрузка, кВт.

- Коэффициент включения:

$$k_{\text{в}} = \frac{t_{\text{в}}}{t_{\text{ц}}}, \tag{12.2}$$

$t_{\text{в}}$ – время включения электроприемника, ч;
$t_{\text{ц}}$ – время цикла работы электроприемника, ч.

- Коэффициент мощности:

$$\cos\varphi = \frac{P_{\text{с}}}{\sqrt{P_{\text{с.в}}^2 + Q_{\text{с.в}}^2}}, \tag{12.3}$$

где $Q_{\text{с.в}}$ – средняя за время включения реактивная нагрузка, квар.

Групповые графики. Групповые графики нагрузки должны записываться как минимум двое суток – рабочий и выходной дни.

Если в течение недели режимы работы объекта меняются, то графики записывают в течение недели.

По групповым графикам определяют следующие характеристики.

- Суточный максимум активной $P_{\text{м}}$ и реактивной нагрузки $Q_{\text{м}}$.
- Коэффициент мощности в период максимума нагрузки:

$$\cos\varphi_{\text{м}} = \frac{P_{\text{м}}}{\sqrt{P_{\text{м}}^2 + Q_{\text{м}}^2}}. \quad (12.4)$$

- Суточный расход активной $W_{\text{сут}}$ и реактивной $V_{\text{сут}}$ энергии.
- Средневзвешенный за сутки коэффициент мощности:

$$\cos\varphi_{\text{сут}} = \frac{W_{\text{с.в}}}{\sqrt{V_{\text{сут}}^2 + W_{\text{сут}}^2}}, \quad (12.5)$$

где $W_{\text{с.в}}$ – средняя за время включения нагрузка, кВ·А.

- Средняя за сутки активная и реактивная мощности:

$$P_{\text{ср.сут}} = \frac{W_{\text{сут}}}{24},$$

$$Q_{\text{ср.сут}} = \frac{V_{\text{сут}}}{24}. \quad (12.6)$$

Качество электрической энергии должно соответствовать требованиям ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

Основные *показатели качества электроэнергии* для сельскохозяйственных потребителей – *медленные изменения напряжения*; *колебания напряжения и фликер*; *несимметрия напряжения*.

Медленные изменения напряжения электропитания (как правило, продолжительностью более 1 мин) обусловлены обычно изменениями нагрузки электрической сети. Показателями качества электроэнергии, относящимися к медленным изменениям напряжения электропитания, являются *отрицательное* $\delta U_{(-)}$ и *положительное* $\delta U_{(+)}$ *отклонения напряжения* электропитания в точке передачи электрической энергии от номинального значения, %:

$$\delta U_{(-)} = \frac{U_{\text{ном}} - U_{max(-)}}{U_{\text{ном}}},$$

$$\delta U_{(+)} = \frac{U_{max(+)} - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}}, \qquad (12.7)$$

где $U_{max(-)}, U_{max(+)}$ – значения напряжения электропитания, меньшие $U_{\text{ном}}$ и большие $U_{\text{ном}}$, соответственно, усредненные в интервале времени 10 мин, В;

$U_{\text{ном}}$ – стандартное номинальное напряжение, В.

В соответствии с ГОСТ 32144-2013 положительные и отрицательные отклонения напряжения в точке передачи электрической энергии не должны превышать 10 % номинального напряжения в течение 100 % времени интервала в одну неделю (установленные нормы медленных изменений напряжения электропитания относятся к 1008 интервалам времени измерений по 10 минут каждый)

Допустимые значения положительного и отрицательного отклонений напряжения в точках общего присоединения должны быть установлены сетевой организацией с учетом необходимости выполнения норм настоящего стандарта в точках передачи электрической энергии. В электрической сети потребителя должны быть обеспечены условия, при которых отклонения напряжения питания на зажимах электроприемников не превышают установленных для них допустимых значений при выполнении требований настоящего стандарта к качеству электроэнергии в точке передачи электрической энергии.

Колебания напряжения и фликер. Колебания напряжения электропитания (как правило, продолжительностью менее 1 мин), в том числе одиночные быстрые изменения напряжения, обусловливают возникновение фликера. Показателями качества электроэнергии, относящимися к колебаниям напряжения, являются кратковременная доза фликера P_{st}, измеренная в интервале времени 10 мин, и длительная доза фликера P_{lt}, измеренная в интервале времени 2 ч, в точке передачи электрической энергии. Для указанных показателей установлены следующие нормы: кратковременная доза фликера P_{st} не должна превышать значения 1,38, длительная доза фликера P_{lt} не должна превышать значения 1,0 в течение 100 % времени интервала в одну неделю.

Несимметрия напряжений. Несимметрия напряжений характеризуется коэффициентом несимметрии напряжений по обратной

последовательности K_{2U} и коэффициентом несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U}:

$$K_{2U} = 100\frac{U_{2(1)}}{U_{\text{ном}}},$$
$$K_{0U} = 100\frac{U_{0(1)}}{U_{\text{ном}}}, \qquad (12.8)$$

где $U_{2(1)}$ – действующее значение напряжения обратной последовательности основной частоты, В;

$U_{0(1)}$ – действующее значение напряжения нулевой последовательности основной частоты, В.

Усредненные в интервале времени 10 мин значения коэффициентов K_{2U} и K_{0U} не должны превышать 2 % в течение 95 % времени интервала в одну неделю и 4 % в течение 100 % времени интервала в одну неделю.

Общая продолжительность измерений показателей качества электроэнергии – 7 суток. Сопоставление показателей с ГОСТ 32144-2013 необходимо выполнять для каждых суток.

Для измерения показателей качества электроэнергии при проведении энергетического обследования лучше использовать переносные портативные анализаторы.

Системы освещения. Инструментальное обследование в системах освещения включает измерение освещенности от искусственных и естественных источников света на нормируемой поверхности.

Цель инструментального обследования в системе освещения – определение основных параметров систем, влияющих на энергопотребление:

- средняя освещенность рабочей поверхности;
- коэффициент естественной освещенности;
- напряжение питающей сети;
- коэффициенты отражения поверхностей;
- время использования искусственного освещения.

Системы наружного освещения. Замеры освещенности от искусственного освещения производят в темное время суток на выделенных типовых участках – визуально средних по количеству и качеству освещения. Измерения производят в основном на поверхности дорожного покрытия.

Нормируемые значения освещенности принимают согласно СНиП 23-05-95 (2003) «Естественное и искусственное освещение».

Системы освещения помещений производственных и общественных зданий. Измерения производят в темное и светлое время суток. Определяют *коэффициент естественной освещенности* (КЕО). Для этого в светлое время производят замер освещенности под открытым небом перед обследуемым зданием при помощи люксметра. Затем производят замеры внутри помещений по методике измерения средней освещенности на рабочей поверхности помещения.

Коэффициент естественной освещенности определяют по формуле:

$$K_{\text{е.о}} = \frac{E_{\text{внутр}}}{E_{\text{наруж}}}, \qquad (12.9)$$

где $E_{\text{внутр}}$ – измеренная средняя освещенность внутри помещения, лк;
$E_{\text{наруж}}$ – измеренная наружная освещенность, лк.

В темное время суток проводятся измерения освещенности от искуственных источников света по методике измерения средней освещенности на рабочей поверхности помещения.

Расположение рабочей поверхности определяется по нормативным документам для данного объекта (напрмер, для рабочих помещений административных зданий высота составляет 0,8 м от пола).

Силовые электроприемники. При обследовании электродвигателей проверяют соответствие мощности электродвигателя и мощности, потребляемой нагрузкой. Завышение мощности приводит к снижению КПД и коэффициента мощности электроустановки. Определяют необходимые паспортные данные: тип, номинальное напряжение, номинальная мощность, КПД, коэффициент мощности, режим работы.

При инструментальном обследовании выполняют определение фактических показателей режима работы электропривода: суточный и недельный графики напряжения, токов, активной и реактивной мощности, по которым анализируются:

- пиковая мощность;
- соответствие нагрузки и мощности двигателя;
- время холостого хода.

Тепловизионное обследование электроустановок.

Тепловизионное обследование – это тепловизионная диагностика объектов в инфракрасной области спектра с длиной волны 2,5…14 мкм, построение температурной карты поверхности, наблюдение динамики тепловых процессов и расчет тепловых потоков.

Электрооборудование, подлежащее тепловизионному обследованию: генераторы, ячейки комплектных распределительных устройств (КРУ), комплектные трансформаторные подстанции (КТП); воздушные линии электропередач; разрядники, ограничители перенапряжения; разъединители, шинные мосты, их изоляция; контактные соединения, коммутационные и защитные аппараты, кабельные наконечники на вводных и распределительных щитах. Обследование производят в период максимальной нагрузки.

Тепловизионная диагностика позволяет увидеть тепловые аномалии на термограммах (рис. 12.1) в виде областей повышенной температуры, соответствующих следующим видам дефектам:

- состояние межлистовой изоляции статора генератора;
- нарушение паек лобовых частей обмоток;
- перегревы контактных соединений;
- наличие дефектных изоляторов;
- нарушение в работе систем охлаждения;
- нарушение внутренней циркуляции масла в баке трансформатора;
- ослабление контактных соединений токоведущих частей;
- ухудшение состояния основной изоляции, изоляции вводов, шунтирующих конденсаторв;
- перегрев контактных соединений аппаратных зажимов;
- трещины и дефекты изоляторов;
- нарушение наружных и внутренних контактных соединений;
- ухудшение внутренней изоляции обмоток;
- ухудшение изоляции концевых кабельных муфт.

Тепловизионное обследование выполняется *тепловизорами*, *пирометрами* и другими приборами.

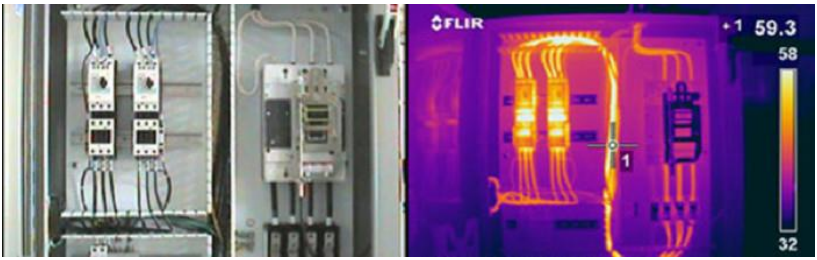


Рис. 12.1. Термограмма обследования распределительного устройства

Задание. Ознакомиться с программой и методикой проведения обследования. Ознакомиться с примером результатов энергетического обследования конкретного предприятия. По индивидуальному графику работы оборудования определить: коэффициент загрузки, коэффициент включения, коэффициент мощности. По групповому графику определить суточный максимум активной и реактивной нагрузки, коэффициент мощности, суточный расход активной и реактивной энергии, средневзвешенный коэффициент мощности, среднюю за сутки активную, реактивную мощности.

Контрольные вопросы

1. Перечислите этапы проведения энергетического обследования.
2. Какие параметры измеряются при проведении инструментального обследования?
3. Какая информация учитывается при анализе применяемых на предприятии тарифов на электроэнергию?
4. Какие параметры можно определить по графикам нагрузки?
5. Назовите основные показатели качества электроэнергии, определяемые при проведении инструментального обследования.
6. Какие дефекты можно обнаружить при тепловизионном обследовании?

Практическая работа № 13

Приборы для проведения инструментального обследования

Цель работы: изучить приборы для проведения энергетических обследований, ознакомиться с требованиями к портативным приборам, назначением и характеристиками основных из них.

Энергетическое обследование в части инструментального обследования должно проводиться с помощью *стационарных* и *портативных приборов*.

К *стационарным* приборам и оборудованию относятся приборы коммерческого учета энергоресурсов, контрольно-измерительная и авторегулирующая аппаратура, приборы климатического наблюдения и другое оборудование, установленное на объекте энергоаудита. *Портативные* приборы – это компактные переносные устройства.

Требования к портативным приборам для энергетического обследования.

- Приборы, с помощью которых проводится энергетическое обследование, должны иметь сертификат Госстандарта РФ и пройти поверку в установленном порядке.
- Помимо вывода показаний на дисплей или шкалу приборы должны иметь стандартный аналоговый или цифровой выход для подключения к регистрирующим устройствам, компьютерам и другим внешним устройствам.
- Портативные приборы должны иметь автономное питание.
- Все приборы должны быть компактными и иметь небольшой вес, позволяющий проводить обслуживание на объекте одним человеком.
- Погрешность измерения должна быть не более ±1,5 % – при измерении электроэнергии; ±5 % – при измерении тока; при измерении показателей качества электроэнергии: отклонения напряжения – ±0,5 %, дозы фликера – ±5 %.

Приборы для исследования графиков нагрузки: *амперметры*, *ваттметры*, *варметры*, *электрические счетчики*, *информационно-измерительные системы*.

Минимальный состав приборов для проведения энергетических обследований.

Для проведения энергетических обследований электроустановок в состав портативной измерительной лаборатории должны, как минимум, входить следующие приборы:

- *анализатор качества электроэнергии*, измеряющий и регистрирующий токи и напряжения в 3 фазах, активную и реактивную мощности, потребленную активную и реактивную электроэнергию, показатели качества электроэнергии;
- *люксметр*;
- *тепловизор*;
- лазерный *дальномер*;
- цифровой *термометр*.

Накопитель цифрового термометра должен иметь не менее двух температурных каналов для непосредственного подключения температурных датчиков, а также не менее двух токовых или потенциальных каналов для регистрации стандартных аналоговых сигналов.

Портативный анализатор количества и качества электроэнергии AR 5.

Один из основных приборов при проведении энергетического обследования – портативный анализатор количества и качества электроэнергии AR 5 (рис. 13.1).

Рис. 13.1. Портативный анализатор количества и качества электроэнергии AR 5

Анализатор AR 5 служит для измерений электроэнергии в трехфазных сетях переменного тока. Прибор применяется для анализа графиков потребления активной и реактивной мощности и определения показателей качества энергии.

Трехфазный портативный анализатор AR 5 измеряет, вычисляет, записывает параметры переменного напряжения и тока, включая гармонические составляющие до 49 порядка, в однофазных и трехфазных сетях. Прибор позволяет анализировать кратковременные возмущения: провалы, импульсы, перенапряжения, наличие фликера (низкочастотной модуляции), позволяет регистрировать быстрые процессы, например, пуск двигателя.

Основные технические характеристики

Диапазон измерения тока	0…2000 А
Относительная погрешность измерения тока	±0,5 %
Диапазон измерения напряжения	0…800 В переменного тока
Относительная погрешность измерения напряжения	±0,5 %
Диапазон измерения cos φ	0,5…1,0
Относительная погрешность измерения cos φ	±0,5 %
Измерительный диапазон мощности	Не лимитируется
Погрешность измерения мощности	±1 %
Источник питания	Сеть 220 В, встроенный источник питания
Вывод результатов измерений	Графический ж/к дисплей
Связь с компьютером	Порт RS-232
Масса прибора	0,6 кг

Анализатор имеет внутреннюю память 1 Мб для сохранения всех измеряемых параметров или вычислений для дальнейшей загрузки в компьютер.

Прибор одновременно фиксирует следующие параметры качества электросети:

- напряжения (фаза-нейтраль, фаза-фаза) каждой фазы и среднее;
- токи каждой фазы и средний;
- частоту сети;
- *cos* φ в каждой фазе;
- 3-фазный коэффициент мощности;
- активную, индуктивную и емкостную мощности по фазам и суммарно;

- неравномерность нагрузки;
- перекос фаз;
- активную, индуктивную и емкостную (потребленную и выданную) энергии.

Функции анализаторов AR 5 расширяются с помощью картриджей-программаторов.

Программатор A (ARI) превращает прибор в анализатор гармонических искажений, вычисляющий спектр гармоник тока и напряжения по всем фазам до 49 порядка.

Программатор C (CL) превращает прибор в анализатор кратковременных возмущений: провалов, импульсов и т.д. Прибор автоматически фиксирует время возмущения и записывает форму искаженной синусоиды напряжения, захватывая по два периода до и после возмущения.

Программатор F (FL) превращает прибор в анализатор фликера (низкочастотной модуляции, выражающейся в мигании освещения) в соответствии ГОСТом на качество энергии.

Программатор T (FCH) позволяет регистрировать быстрые процессы, например, пуск двигателя.

Программатор M (CM) оперативно фиксирует ошибку показаний установленных электросчетчиков.

Анализатор AR 5 подключается с помощью датчиков тока и потенциальных проводов к одно- или трёхфазной сети 220/380В или к измерительным трансформаторам тока и напряжения сетей 6/10 кВ и выше. Прибор имеет 3 канала измерения тока и 3 напряжения (модель AR 5L оснащена дополнительным каналом для измерения тока нейтрали). Сменными датчиками тока служат клещи или гибкие кольца номиналом от единиц до тысяч ампер. По измеренным величинам процессор рассчитывает множество электрических параметров, которые отображаются на графическом ЖК дисплее анализатора и записываются в память прибора, откуда затем считываются на компьютер, снабжённый программным обеспечением для визуализации, обработки и анализа накопленной информации (ПО под Windows поставляется с прибором).

Объём внутренней памяти AR 5 – 1 Мб, это достаточно для запоминания результатов 5000 полных измерений. Это количество можно значительно увеличить, если регистрировать не все параметры, а по выбору. Запись в память анализатора осуществляется с заданным интервалом от 1 секунды до 4 часов, т.е. например, если

фиксировать все параметры тока (полное измерение) через каждые 9 с, то время контроля электрической сети составит 12,5 ч или если через каждые 4 ч, то полное время регистрации составит 2 года и 4 месяца, а если количество запоминаемых прибором параметров уменьшить, то время регистрации возрастет пропорционально. Для программы «быстрые процессы» период измерения прибором составляет – 0,02…1 с.

Люксметр ТКА-ЛЮКС.

Прибор предназначен для измерения освещённости в видимой области спектра, создаваемой искусственными или естественными источниками, расположенными произвольно относительно приемника.

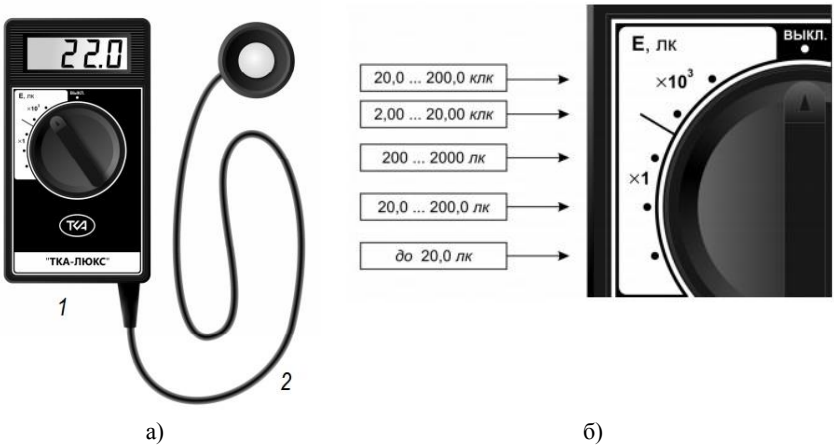
Основные технические данные
и характеристики прибора Люксметр «ТКА-ЛЮКС»

Диапазон измерений освещенности	1,0…200000 лк
Основная относительная погрешность измерений освещённости (не более)	± 6,0 %
Включая нелинейность световой характеристики (не более)	± 2,0 %
Включая пределы допускаемой относительной погрешности, вызванной отклонением относительной спектральной чувствительности от относительной спектральной световой эффективности (не более)	± 4,0 %
Включая пределы допускаемой относительной погрешности градуировки по источнику А (не более)	± 3,0 %
Включая пределы допускаемой дополнительной относительной погрешности, вызванной пространственной характеристикой фотометрической головки люксметра (не более) при углах:	
5 градусов	± 0,5 %
15 градусов	± 1,0 %
30 градусов	± 5,0 %
60 градусов	± 15,0 %
Пределы дополнительной относительной погрешности прибора при измерении оптических величин, за счет изменения чувствительности фотометрической головки при изменении температуры воздуха в зоне измерений на каждые 10 °С (не более)	± 3,0 %
Жидкокристаллический дисплей	3½ разряда
Габаритные размеры	
Измерительный блок (не более)	155×77×40 мм
Фотометрическая головка (не более)	Ø36×21 мм
Масса прибора (не более)	0,4 кг
Элемент питания	батарея напряжением 9 В

Прибор предназначен для измерения освещенности, создаваемой различными источниками, произвольно пространственно расположенными, в люксах.

Принцип работы прибора заключается в преобразовании фотоприемным устройством излучения в электрический сигнал с последующей цифровой индикацией числовых значений освещенности в люксах.

Конструктивно прибор состоит из *фотометрической головки* и *блока обработки сигналов*, связанных между собой многожильным гибким кабелем. Органы управления режимами работы (рис. 13.2) и жидкокристаллический индикатор расположены на блоке обработки сигналов. Отсчетным устройством прибора является жидкокристаллический индикатор, на табло которого при измерениях индицируются числа от 0 до 1999 с плавающей запятой. На задней стенке блока обработки сигналов расположена крышка батарейного отсека.



а) б)

Рис. 13.2. Внешний вид прибора:
1 – блок обработки сигналов, 2 – фотометрическая головка

Порядок работы. Прибор включают, повернув переключатель диапазонов. Определяют значение темнового сигнала $E_{\text{тс}}$, лк, при всех положениях переключателя, закрыв входное окно фотометрической головки плотным ворсистым черным материалом

(измерение темнового тока актуально при работе в диапазонах 0…20 лк и 0…200 лк. Фотометрическую головку прибора располагают параллельно плоскости измеряемого объекта. На окно фотоприемника не должна падать тень от оператора, производящего измерение, а также тень от временно находящихся посторонних предметов. С цифрового индикатора считывают измеренное значение освещенности $E_{\text{изм}}$, лк. Истинную освещенность E рассчитывают по формуле:

$$E = E_{\text{изм}} - E_{\text{тс}}, \text{лк}. \qquad (13.1)$$

В случае появления на индикаторе символа «1», означающего перегрузку по входному сигналу, необходимо переключить прибор на следующий диапазон измерения.

Не реже одного раза в год следует производить поверку прибора. При пользовании прибором следует оберегать входное окно фотоприёмника от ударов и загрязнений, увеличивающих погрешность измерений. В случае загрязнения молочного стекла его следует промыть ватой или чистой тряпочкой, слегка смоченной спиртом. Прибор подлежит ежегодной поверке согласно документу «Методика поверки».

Задание. Изучить приборы для проведения энергетических обследований. Выписать их технические характеристики.

Контрольные вопросы

1. Перечислите требования, предъявляемые к портативным приборам для энергетического обследования.
2. Назовите минимально возможный перечень приборов для проведения энергетических обследований.
3. Какие параметры измеряет портативный анализатор количества и качества электроэнергии AR 5?
4. Какие дополнительные функции могут быть добавлены в анализаторе количества и качества электроэнергии AR 5?
5. Опишите назначение и устройство прибора Люксметр «ТКА-ЛЮКС».

Практическая работа № 14

Обработка результатов энергетического обследования электроустановок

Цель работы: изучить порядок обработки результатов энергетического обследования, ознакомиться с методикой определения нормативных потерь электроэнергии.

Информация, полученная из документов или при инструментальном обследовании, является исходным материалом для анализа эффективности использования энергоресурсов.

По результатам инструментального обследования определяются итоговые балансы энергопотребления. Чтобы выявить возможный потенциал энергосбережения, выполняется расчет нормативного значения потребления электроэнергии или берутся данные по энергопотреблению за последние несколько лет. Вопросы, подлежащие рассмотрению:

- расчет нормативных показателей энергопотребления;
- сравнение фактического и нормативного потребления электроэнергии;
- выявление причин несоответствия фактических показателей и нормативных значений;
- определение потенциала энергосбережения по отдельным направлениям;
- составление энергетического баланса предприятия;
- разработка организационно-технических мероприятий по экономии электроэнергии;
- расчет возможной величины экономии электроэнергии;
- расчет экономической эффективности от реализации мероприятий по энергосбережению.

Определение нормативных потерь электроэнергии.

Для определения нормативных потерь электроэнергии на предприятии существует несколько методик. При достаточном объеме исходной информации нормативный расход электроэнергии определяют по выражению:

$$W = W_{\text{о}} + W_{\text{с}} + W_{\text{п}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}, \qquad (14.1)$$

где $W_{\text{о}}$ – годовой нормативный расход электроэнергии системой освещения, кВт·ч;

$W_{\text{с}}$ – годовой нормативный расход электроэнергии силовой нагрузкой, кВт·ч;

$W_{\text{п}}$ – годовые нормативные потери активной электроэнергии в электрической сети, кВт·ч. Определяются в случае, если на балансе организации есть трансформаторная подстанция 10(6)/0,4 кВ и линии электропередачи напряжением свыше1 кВ.

Нормативное годовое потребление системы освещения определяется по формуле:

$$W_{\text{о}} = \sum_{i=1}^{n} W_{\text{о.в}} + W_{\text{о.н}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}, \qquad (14.2)$$

где n – количество зданий на предприятии;

$W_{\text{о.в}}$ – годовое нормативное потребление электроэнергии системой внутреннего освещения i-го здания, кВт·ч;

$W_{\text{о.н}}$ – годовое нормативное потребление электроэнергии системой наружного освещения предприятия, кВт·ч.

$$W_{\text{в}.i} = \sum_{i=1}^{m} (P_{\text{уд}.i}\, S_i \frac{E_i}{100} T_i), \qquad (14.3)$$

где m – число помещений в i-м здании;

$P_{\text{уд}.i}$ – базовое значение удельной установленной мощности осветительных приборов i-го помещения, приведенное к освещенности 100 лк, Вт/м^2;

S_i – площадь i-го помещения, м^2;

E_i – нормируемая минимальная освещенность i-го помещения, лк;

T_i – годовое число часов работы источников света i-го помещения, ч.

$$W_{\text{о.н}} = T_{\text{н}} \sum_{i=1}^{l} (P_{\text{у}.i}\, n_i), \text{кВт} \cdot \text{ч}, \qquad (14.4)$$

где l – число типов осветительных установок;

$P_{\text{у}.i}$ – установленная мощность осветительной установки i-го типа, кВт;

n – количество установок i-го типа;

$T_{\text{н}}$ – годовое число часов работы источников света, ч.

Годовой нормативный расход активной электроэнергии силовой нагрузкой предприятия можно определять по выражению:

$$W_{\text{с}} = P_{\text{ср}} T_s, \text{кВт} \cdot \text{ч}, \qquad (14.5)$$

где $P_{\text{ср}}$ – средняя мощность силовых электроприемников предприятия, кВт;

T_s – годовой фонд рабочего времени, ч.

Среднюю мощность можно определить по выражению:

$$P_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^{r} (P_{\text{у}.i}\, n_i k_{\text{и}.i}), \text{кВт}, \qquad (14.6)$$

где r – количество групп однотипного силового оборудования;

$P_{\text{у}.i}$ – установленная мощность i-й группы, кВт;

n_i – количество электроприемников i-й группы;

$k_{\text{и}.i}$ – коэффициент использования электроприемников i-й группы.

Годовые нормативные потери активной электроэнергии в сети:

$$\Delta W = \Delta W_{\text{л}} + \Delta W_{\text{т}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}, \qquad (14.7)$$

где $\Delta W_{\text{л}}$ – годовые нормативные потери активной энергии в линии, кВт · ч;

где $\Delta W_{\text{т}}$ – годовые нормативные потери активной энергии в трансформаторе ТП, кВт · ч.

$$\Delta W_{\text{л}} = \sum_{i=1}^{s} \left(\frac{S_{\text{р}i}}{U_{\text{ном}}}\right)^2 r_{0i} l_i \tau_i \cdot 10^{-5}, \text{кВт} \cdot \text{ч}, \qquad (14.8)$$

где s – число участков линии;

$S_{\text{р}i}$ – расчетная максимальная мощность участка линии, кВ·А;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение, кВ;

r_{0i} – удельное активное сопротивление проводов участка линии, Ом/км;

l_i – длина участка линии, км;

τ_i – время потерь в год, ч.

Для трансформаторов:

$$\Delta W_{\text{т}} = \left(\frac{S_{\text{р}}}{S_{\text{ном}}}\right)^2 p_{\text{к}} \tau_{\text{я}} + p_{\text{х.х}} t_{\text{в}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}, \qquad (14.9)$$

где $S_{\text{ном}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВ·А;

$p_{\text{к}}$, $p_{\text{х.х}}$ – соответственно, потери короткого замыкания и холостого хода трансформатора, кВт;

$t_{\text{в}}$ – время включения трансформатора, ч. При работе круглый год $t_{\text{в}}$=8760 ч.

При недостаточном объеме информации годовой нормативный расход электроэнергии группы электроприемников можно определить ориентировочно:

$$W_{\text{т}} = n P_{\text{у}} k_{\text{и}} T, \text{кВт} \cdot \text{ч}, \qquad (14.10)$$

где n – количество единиц электрооборудования в группе;

$P_{\text{у}}$ – установленная мощность единицы электрооборудования, кВт;

$k_{\text{и}}$ – коэффициент использования установленной мощности;

T – число часов работы электрооборудования в год, ч.

Анализ показателей качества электроэнергии.

Измеренные показатели качества электроэнергии необходимо сравнить с допустимыми значениями, нормируемыми ГОСТ 32144-2013. Значения показателей качества не должны превышать допустимых значений в течение 100 % времени интервала в одну неделю.

После анализа структуры электропотребления основными технологическими установками можно определить долю электропотребления различными потребителями.

По результатам инструментального обследования и выполненных расчетов переходят к составлению *энергетического баланса*. Он составляется по основным технологическим установкам и по предприятию в целом. Энергетический баланс записывается в табличной форме (табл. 14.1).

Таблица 14.1

Баланс потребления электроэнергии предприятия

Вид оборудования	Расчетное потребление, тыс. кВт·ч	Фактическое потребление, тыс. кВт·ч	% фактического потребления от общего
Освещение			
Бытовые электроприборы			
Насосное оборудование			
и т.д.			
Потери в электросети			
Итого			100

Энергетический баланс достаточно полно характеризует потребление электроэнергии предприятия, позволяет выявить фактический небаланс и выполнить анализ причин в случае превышения допустимого значения.

Задание. Ознакомиться с примером результатов энергетического обследования конкретного предприятия, выполнить их анализ. Выполнить расчет возможной экономии электроэнергии от внедрения энергосберегающих мероприятий: в системах внутреннего и наружного освещения; от реконструкции воздушных линий 0,38 кВ; за счет замены технологического оборудования на более эффективное и т.д. Представить результаты экономической оценки потенциала энергосбережения предприятия в табличной форме.

Контрольные вопросы

1. Каким образом можно определить нормативные потери электроэнергии на предприятии?
2. Назовите возможные мероприятия по снижению потерь электроэнергии по результатам энергетического обследования в электрической сети.
3. Как составляется энергетический баланс?
4. Как можно рассчитать потенциал экономии электроэнергии на предприятии?
5. Как рассчитать экономию электроэнергии от замены технологического оборудования на более эффективное?

Практическая работа № 15

Учет электрической энергии на предприятиях

Цель работы: ознакомиться с устройством, принципом работы, схемами включения основных типов счетчиков электроэнергии.

Для измерений электроэнергии переменного тока применяются *счетчики* следующих типов:

- *индукционные* и *электронные*;
- однофазные и трехфазные;
- для учета активной и реактивной энергии;
- с одним и двумя направлениями учета;
- без выходного и с выходным импульсным сигналом.

В настоящее время более широкое применение находят микропроцессорные приборы измерения, учета и анализа электрических величин.

Требования эксплуатации счетчиков электроэнергии.

При эксплуатации счетчиков электроэнергии к ним предъявляются требования:

- надежность и пылевлагонепроницаемость корпуса;
- надежность электронных элементов схемы и качество сборки счетчиков;
- защищенность от коммутационных и грозовых перенапряжений, особенно в распределительных сетях напряжением 380/220 В;
- защищенность от несанкционированного доступа и измерения схемы включения счетчика.

Индукционный измерительный механизм.

Измеряемая активная энергия в общем виде определяется произведением мощности *P*, кВт, на время *t*, ч:

$$W_a = Pt, \text{кВт} \cdot \text{ч}. \qquad (15.1)$$

Работа индукционного измерительного механизма (рис. 15.1) основана на создании электромагнитами напряжения *2* и тока *1* переменных магнитных потоков Φ_u и Φ_i с углом фазового сдвига между ними 90^0 и направленных перпендикулярно плоскости диска.

Магнитные потоки Φ_u и Φ_i, пронизывая алюминиевый диск, индуктируют в нем вихревые токи I_i' и I_U'. Взаимодействие

магнитных потоков Φ_u и Φ_i с полем вихревых токов создает момент вращения подвижной части

$$M_{\text{вр}} = k\Phi_u\,\Phi_i \sin(90^0 + \varphi). \qquad (15.2)$$

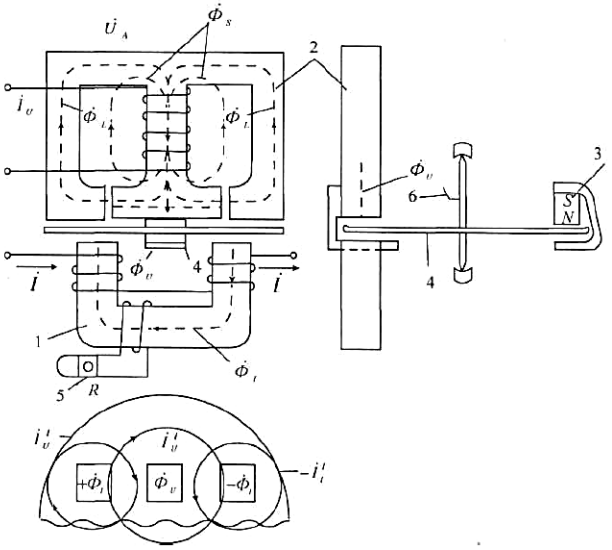


Рис. 15.1. Индукционный измерительный механизм

Магнитный поток Φ_u пропорционален приложенному напряжению U. Магнитный поток Φ_i пропорционален току нагрузки $I_{\text{н}}$. Тогда

$$M_{\text{вр}} = kUI_{\text{н}} \cos\varphi, \qquad (15.3)$$

где k – постоянный коэффициент, определяемый конструкцией счетчика.

Постоянный магнит *3* создает тормозной момент. Для компенсации трения в опорах, счетном механизме диска *4* о воздух, червячной передаче электромагнитом *2* создается компенсационный момент, равный тормозному:

$$M_{\text{к}} = M_{\text{т}}. \qquad (15.4)$$

В результате равенства компенсационного и тормозного моментов подвижная часть при отсутствии тока нагрузки находится в состоянии динамического равновесия.

Основное регулирование характеристик индукционного измерительного механизма осуществляется следующим образом:

- тормозного момента – механическим перемещением постоянного магнита *3* (рис. 15.1);
- компенсационного момента – перемещением пластины магнитного шунта электромагнита *2*;
- внутреннего угла фазового сдвига φ – перемещением зажима 5 на сопротивлении *R*;
- самохода – отгибанием флажка *6*, расположенного на оси диска *4*.

Измерение электроэнергии электронными счетчиками.

Измерения энергии электронными счетчиками основаны на преобразовании аналоговых входных сигналов переменного тока и напряжения в счетный импульс или код. На рисунке 15.2 представлена структурная схема электронного счетчика, основанного на амплитудной и широтно-импульсной модуляции.

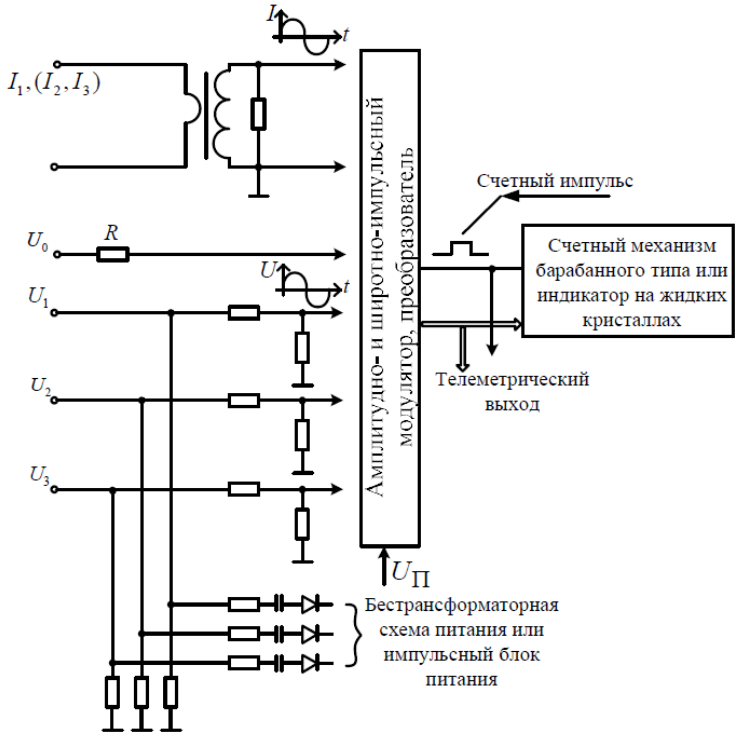


Рис. 15.2. Структурная схема электронного счетчика

В этом счетчике отсутствуют механические вращающиеся части, тем самым исключается трение. В результате удается добиться лучших метрологических характеристик: погрешности измерений, порога чувствительности, самохода счетчика и т.д.

В ряде электронных счетчиков вместо счетного механизма барабанного типа применяют индикатор на жидких кристаллах.

Применение специализированных больших интегральных схем (БИС), микропроцессоров позволило создать многофункциональные счетчики.

Они измеряют активную и реактивную энергию, а также ток, напряжение, cos φ, контролируют и запоминают графики нагрузок, отображают на индикаторе информацию о схеме включения счетчика и т.д.

Точность измерений электрической энергии счетчиком.

Точность измерений электрической энергии счетчиком можно оценить погрешностью счетчика, которая определяется его систематической составляющей, порогом чувствительности, самоходом, точностью регулировки внутреннего угла, дополнительными погрешностями.

Погрешность счетчика δ_c зависит от значений тока и cos φ. Зависимость погрешности от тока и cos φ называют нагрузочной характеристикой счетчика.

В эксплуатации на присоединениях с низким cos φ (меньше 0,5) и малыми токами нагрузки (меньше 0,5 А) при проверке эталонным счетчиком типа ЦЭ6806П наблюдаются плюсовые погрешности измерений электроэнергии индукционными счетчиками до +30 %. Также в этих же режимах отдельные счетчики дают отрицательные погрешности до –8 %. Такой большой разброс объясняется во многом регулировкой компенсации трения в индукционном счетчике.

Порог чувствительности – наименьшее значение мощности, при котором счетчик измеряет электрическую энергию. Для индукционного счетчика класса точности 2 с номинальным током 5 А предел порога чувствительности по току составляет 25 мА при *cos* φ=1. Для электронного счетчика он значительно меньше и практически достигает 1…5 мА. Порог чувствительности счетчика может оцениваться по погрешности измерений на токе 25 мА и *cos* φ=1 с помощью эталонного счетчика типа ЦЭ6806П.

Самоход. При включении счетчика на напряжение от 80 до

110 % от номинального (т.е. при $U_{ном}$ =220 В от 176 до 242 В) с отключенными токовыми цепями диск индукционного счетчика не должен совершить более одного полного оборота за время наблюдения 10 мин. Для электронного счетчика не должны мигать индикаторы основного и поверочного передающих устройств.

Причины, вызывающие самоход индукционного счетчика в эксплуатации:

- обратный порядок чередования фаз напряжений;
- отсутствие напряжения на одной из фаз на клеммной колодке счетчика;
- разные значения фазных напряжений на клеммной колодке трехфазного счетчика, например U_A=220 В, U_B=240 В, U_C=260 В;
- схема включения трехфазного счетчика выполнена с совмещенными цепями тока и напряжения;
- неправильная регулировка счетчика.

Точность регулировки внутреннего угла индукционного счетчика активной энергии проверяется на стенде при номинальном токе, напряжении и $\cos\varphi$=0 для углов фазового сдвига 90 и 270^0. При этом счетчик не должен измерять энергию.

Схемы включения однофазных счетчиков.

Схема включения однофазного счетчика изображена на рисунке 15.3, *а*.

Обязательным требованием при включении счетчика являются соблюдения полярности подключения как по току, так и по напряжению.

На рисунке 15.3, *б* изображена схема включения индукционного счетчика с обратной полярностью в токовой цепи. В данном случае изменение направления тока в цепи создает отрицательный вращающий момент, и диск счетчика будет вращаться в обратную сторону.

Электронный однофазный счетчик в этом случае энергию не измеряет, и мигание индикаторов не наблюдается. Новые типы электронных однофазных счетчиков измеряют электроэнергию независимо от полярности подключения токовой цепи.

Включение однофазного счетчика с обратной полярностью по напряжению и току показано на рисунке 15.3, *в*. В данном случае фазы тока и напряжения одновременно изменяются на 180^0, а угол фазового сдвига остается прежним. Поэтому счетчик измеряет

электроэнергию в соответствии со своим классом точности. На практике использование схемы включения счетчика (рис. 15.3, *в*) не допускается, так как она позволяет использовать электроэнергию без учета.

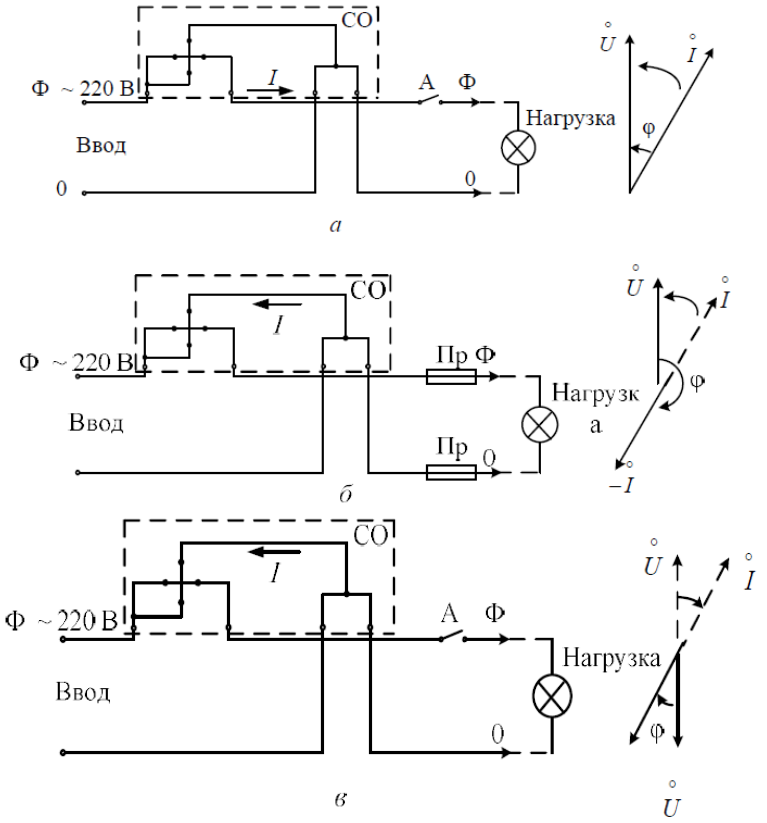


Рис. 15.3. Схемы включения и векторные диаграммы однофазного счетчика (а), индукционного однофазного счетчика с обратной полярностью в токовой цепи (б) и однофазного счетчика с обратной полярностью в цепи тока и напряжения (в)

С целью предотвращения хищений электрической энергии предусматривается установка на однофазных индукционных счетчиках:

- стопора обратного хода;

- второй (дублирующей) перемычки для подачи напряжения на катушку, располагая ее внутри корпуса;
- второй токовой катушки в цепи нулевого провода.

Кроме того, кожух счетчика выполняется прозрачным.

Схемы включения трехфазных счетчиков в электроустановках напряжением 380/220 В.

В трехфазных четырехпроводных сетях напряжением 380/220 В для измерений электроэнергии применяют счетчики прямого (непосредственного) включения. Их называют прямоточными. Кроме того, используют счетчики, подключаемые в сеть через трансформаторы тока (ТТ). Их называют универсальными или трансформаторными.

Счетчики прямого включения рассчитаны на номинальные токи 5, 10, 20, 50 А. Подключение токовой цепи этих счетчиков осуществляется последовательно с сетевыми проводниками и обязательным соблюдением полярности (рис. 15.4).

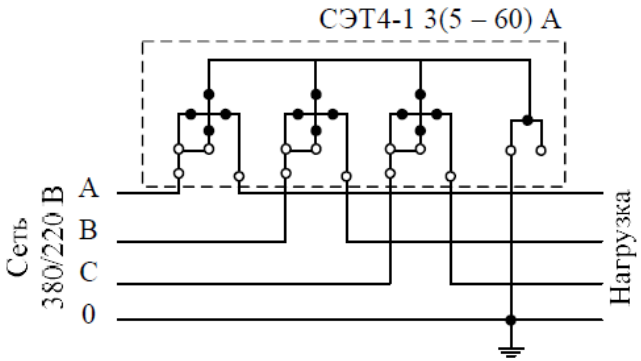


Рис. 15.4. Схема включения прямоточного счетчика типа СЭТ4-1

Измеряемая энергия равна разности показаний счетного механизма за расчетный (учетный) период:

$$\Delta W = \Pi_к - \Pi_н = \Delta\Pi. \qquad (15.5)$$

Подключение с обратной полярностью одной из токовых цепей счетчика приводит к значительному недоучету электроэнергии. Обязательно соблюдение прямого порядка чередования фаз напряжений на колодке зажимов счетчика. Изменение порядка чередования фаз напряжений на колодке зажимов счетчика

осуществляется переменой мест подключения соответственно двух проводов одного элемента с двумя проводниками другого элемента.

На рисунке 15.5 изображены схема включения трансформаторного счетчика, которая соответствует индуктивному характеру нагрузки в случае фазового сдвига, равного 30^0. Схема включения выполнена десятипроводной. Токовые цепи счетчика гальванически не связаны с цепями напряжения, а разделены.

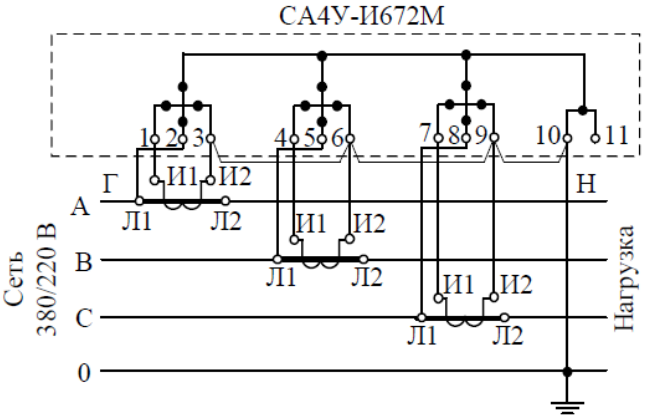


Рис. 15.5. Схема включения трехэлементного счетчика типа СА4У-И672М в четырехпроводную сеть с раздельными цепями тока и напряжения

Измеряемая электроэнергия равна разности показаний счетного механизма, умноженной на коэффициент трансформации:

$$W = k_{\text{т}}(\Pi_{\text{к}} - \Pi_{\text{н}}) = k_{\text{т}}\Delta\Pi. \qquad (15.6)$$

Подключение каждого из трех измерительных элементов счетчика требует обязательного соблюдения полярности подключения токовых цепей и соответствия их своему напряжению. Обратная полярность включения первичной обмотки трансформатора тока или его вторичной обмотки вызывает отрицательный вращающий момент, действующий на диск счетчика.

Схема обеспечивает нормируемую погрешность измерений.

Подключение нулевого провода обязательно. Наиболее часто встречающиеся повреждения в схеме:

- ослабление или окисление зажимных контактов на

трансформаторах тока;

- обрыв (внутренний излом) фазных проводов напряжения вторичных цепей;
- пробой трансформаторов тока.

При необходимости изменения порядка чередования фаз три провода с одного элемента на колодке зажимов счетчика меняются местами с соответствующими тремя проводами другого элемента.

Часто применяется семипроводная схема включения (рис. 15.6). В этой схеме выполнено объединение цепей тока и напряжения. Прямой порядок чередования фаз обязателен.

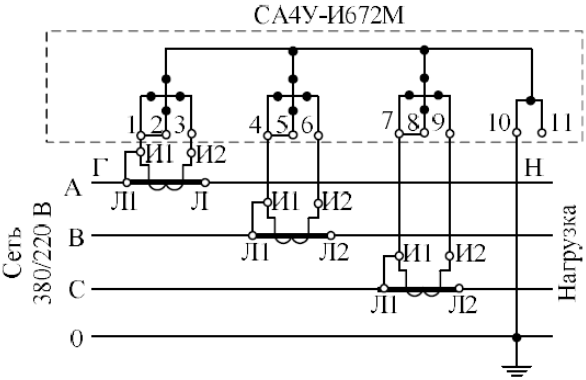


Рис. 15.6. Схема включения трехэлементного счетчика типа СА4У-И672М в четырехпроводную сеть с совмещенными цепями тока и напряжения:
Л1–И1 – перемычки, установленные на ТТ; 1–2; 4–5; 7–8 – перемычки, установленные на счетчике

Совмещение цепей тока и напряжения выполняется установкой перемычек на счетчике и на трансформаторах тока. Схема имеет следующие недостатки:

- под напряжением находятся токовые цепи счетчика;
- пробой ТТ длительное время не выявляется;
- установка перемычек И2-Л2 на трансформаторе тока, и 1-2 на счетчике вызывает дополнительную погрешность измерений.

Наиболее универсальной является схема включения счетчиков с испытательной коробкой (рис. 15.7). Испытательная коробка позволяет, не отключая нагрузки, произвести замену счетчиков и

проверку схемы включения.

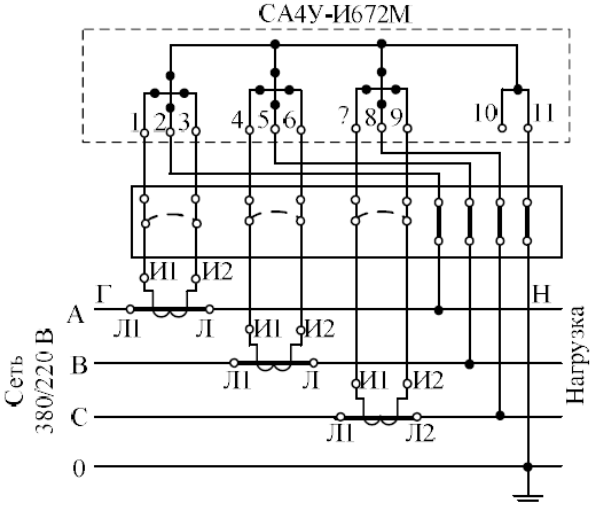


Рис. 15.7. Схема включения трехэлементного счетчика типа СА4У-И672М в четырехпроводную сеть с испытательной коробкой

Для измерений активной и реактивной энергии применяется схема включения счетчиков, изображенная на рисунке 15.8.

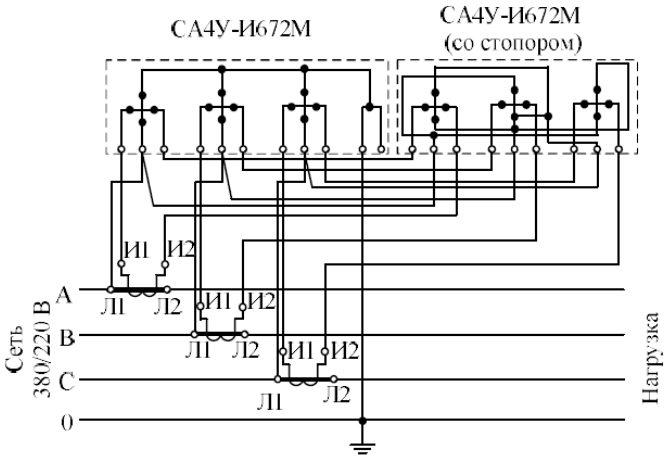


Рис. 15.8. Схема включения счетчиков для измерений активной и реактивной энергии в сети напряжением 380/220 В

Схемы включения счетчика реактивной энергии типа СР4У-И673 и счетчика активной энергии не отличаются друг от друга. Токовые цепи этих счетчиков соединяются последовательно, цепи напряжения – параллельно.

Отличие счетчика реактивной энергии от счетчика активной энергии – в схеме внутренних соединений. За счет схемы внутренних соединений катушек, рассчитанных на напряжение 380 В, выполняется дополнительный 90^0 фазовый сдвиг между магнитными потоками.

Задание. Ознакомиться с устройством, принципом работы, схемами включения основных типов счетчиков электроэнергии.

Контрольные вопросы

1. Поясните принцип работы индукционного измерительного механизма.
2. В чем заключается основное регулирование характеристик индукционного измерительного механизма?
3. На каком принципе работают электронные счетчики?
4. Назовите основные схемы включения счетчиков электрической энергии.
5. Поясните схему включения счетчиков для измерений активной и реактивной энергии в сети напряжением 380/220 В.

Практическая работа № 16

Счетчики для автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии

Цель работы: изучить счетчики электрической энергии, применяемые в автоматизированных системах коммерческого учета электроэнергии**.**

Автоматизация учета энергоресурсов и, прежде всего, электроэнергии, стала возможной с появлением и совершенствованием электронных счетчиков. В таких счетчиках используются твердотельные датчики, не имеющие подвижных элементов. Датчики преобразуют проходящий ток в измерительные импульсы, посредством которых определяется не только количество потребленной электроэнергии, но и другие числовые параметры сети, что позволяет получать важную аналитическую информацию. Ключевым элементом электронного счетчика является микропроцессор, который обеспечивает высокоточное измерение электрической энергии и множества параметров электрической сети: напряжения, токов, частоты, сдвигов фаз и других, реализацию многотарифного учета. Счетчики для автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) обеспечивают автоматическую передачу информации на следующий уровень системы, что исключает необходимость человеческого участия в сборе данных.

Счетчики для АСКУЭ могут быть одно- и трехфазными; трехфазные – непосредственного (прямого) и трансформаторного включения; различного класса точности, номинального напряжения.

Основные производители счетчиков для АСКУЭ:

- АО «ННПО им. Фрунзе» (счетчики СЭТ, ПСЧ, СЭБ и др.);
- ООО «НПК Инкотекс» (счетчики «Меркурий»);
- ООО «Матрица»;
- концерн «Энергомера»;
- международная группа компаний Elster;
- компания Echelon Corporation и др.

Многофункциональные трехфазные счетчики электроэнергии А2 АЛЬФА Плюс.

Счетчики А2 АЛЬФА Плюс (рис. 16.1) предназначены для:

- учета активной и реактивной энергии в трехфазных цепях переменного тока трансформаторного или прямого включения, в одно- и многотарифных режимах;
- использования в составе автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) и передачи измеренных или вычисленных параметров на диспетчерский пункт по контролю, учету распределенной электрической энергии;
- измерения и отображения дополнительных параметров трехфазной энергетической сети (токов, напряжений, частоты, углов сдвига фаз, коэффициента искажения синусоидальности кривых тока и напряжения, гармонического состава кривых тока и напряжения).

Рис. 16.1. Счетчик А2 АЛЬФА Плюс

Счетчик А2 АЛЬФА Плюс имеет возможность измерять и отображать некоторые параметры качества электроэнергии. Счетчик АЛЬФА Плюс измеряет, вычисляет и отображает на дисплее до 46 величин, относящихся к параметрам электроэнергии. К ним относятся:

- токи и напряжения фаз;
- активная, реактивная и полная мощности сети;
- активная, реактивная и полная мощности фаз;
- коэффициент мощности $\cos\varphi$ сети и каждой фазы;
- фазные углы векторов напряжений и токов;
- значение второй гармоники по фазам напряжения;
- значение второй гармоники по фазам тока;
- коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения и тока;
- частота сети.

Основные технические характеристики счетчика
А2 АЛЬФА Плюс

Класс точности	0,2S и 0,5S
Количество тарифов	4 тарифные зоны, 4 типа дня, 4 сезона
Диапазон токов счетчика	5 мА…10 А
- прямого включения $I_{ном}$=80 А	5,0 мА…10 А
- трансформаторного включения $I_{ном}$=5А	1,0 мА…2 А
$I_{ном}$=1А	1,0 мА…10 А
Максимальный ток в течение 0,5 с	100 А (трансформаторное включение) 800 А (прямое включение)
Рабочее напряжение	100, 220, 380 В
Диапазон частоты сети	47,5…52,5 Гц
Рабочий диапазон температур	-40…+60 ℃
Мощность потребления питания	менее 3,6 В·А
Сохранность данных при перерывах питания	срок 2-3 года при помощи батареи в постоянном режиме разряда
Регистрация отключений питания	до 99 отключений
Самодиагностика счетчика	1 раз в сутки
Масса	3,0 кг
Габариты	262×180×180
Срок службы	30 лет
Межповерочный интервал	8 лет

Микропроцессорный счетчик АЛЬФА А3.

Счетчик АЛЬФА А3 (рис. 16.2) объединяет в себе прибор для учета электроэнергии и мощности по тарифам и измерения параметров качества электроэнергии. Открытый стандартный протокол связи обеспечивает интеграцию этого счетчика в системы автоматизированного учета электроэнергии (АСКУЭ). Основными отличиями счетчика АЛЬФА А3 являются расширенная до 1 Мб память, куда могут записываться данные не только о мощности и энергии, но также данные фазовых значений токов и напряжений и наличие двух цифровых интерфейсов.

Рис. 16.2. Счетчик АЛЬФА А3

Измеряемые параметры:

- ток, напряжение и мощность по фазам;
- углы сдвига фаз;
- частота сети;
- коэффициент мощности;
- индикация источника гармонических искажений;
- определение процентного содержания гармоник;
- фиксация выхода параметров качества за установленные пределы.

Многофункциональный микропроцессорный счётчик АЛЬФА А1800.

Счётчик трансформаторного включения АЛЬФА А1800 (рис. 16.3) предназначен для учёта активной и реактивной энергии и мощности в трёхфазных сетях переменного тока в режиме многотарифности, хранения измеренных данных в своей памяти, а также передачи их по цифровым и импульсным каналам связи на диспетчерский пункт по контролю, учёту и распределению электроэнергии. Предназначен для установки на перетоки, генерацию, высоковольтные подстанции, в распределительные сети и на промышленные предприятия.

Рис. 16.3. Счётчик АЛЬФА А1800

Функциональные возможности счетчика АЛЬФА А1800:

- измерение активной и реактивной энергии и мощности с классом точности 0,2S, 0,5S в режиме многотарифности;

- измерение параметров электросети с нормированными погрешностями;
- фиксация максимальной мощности нагрузки с заданным усреднением;
- фиксация даты и времени максимальной активной и реактивной мощности для каждой тарифной зоны;
- запись и хранение данных графика нагрузки и параметров сети в памяти счётчика;
- передача результатов измерений по цифровым и импульсным каналам связи;
- автоматический контроль нагрузки и сигнализация о выходе параметров сети за установленные пределы;
- учёт потерь в силовом трансформаторе и линии электропередачи.

Счётчик АЛЬФА А1800 может быть оборудован одновременно несколькими независимыми цифровыми интерфейсами (RS-485, RS-232) для поддержки различных задач в информационном обмене. Счётчик АЛЬФА А1800 обладает увеличенной памятью, что позволяет ему вести запись трёх независимых массивов профиля нагрузки по энергии и мощности с разными интервалами усреднения (1, 2, 3, 5, 6, 10, 15, 30 и 60 мин), а также до 32 различных графиков параметров сети с двумя различными интервалами. Кроме того, записанные за последний интервал данные параметров сети, которые хранятся в отдельном блоке памяти счётчика, можно считывать напрямую с частотой порядка нескольких секунд. Коммерческие данные по электроэнергии и мощности можно считывать при этом по второму цифровому интерфейсу, с другой частотой, например 30 мин, что позволяет использовать счётчик АЛЬФА А1800 одновременно в качестве прибора коммерческого учёта и как датчика (с замещающими данными) для систем оперативно-диспетчерского и технологического управления SCADA.

Встроенная плата дополнительного питания, замена батареи без вскрытия счётчика, 16-сегментный дисплей с подсветкой, открытый протокол ANSI для чтения счётчика – дополнительные опции, которые обеспечивают удобство работы.

Расширенные функции защиты. Счетчик АЛЬФА А1800 отличается повышенным уровнем защиты коммерческой информации от ошибок и преднамеренных действий:

- защита от несанкционированного доступа (паролями на ПО, счётчик и пломбированием).
- фиксация даты и времени снятия крышки счетчика и крышки клеммника.
- запись фактов изменения конфигурации счётчика.
- фиксация попыток связи с неверным паролем.
- фиксация отключения фаз напряжения.
- измерение мощности по модулю для каждой фазы.
- фиксация фактов реверса энергии.
- фиксация превышения заданных порогов по мощности.
- самодиагностика.
- увеличенный журнал событий (до 255 записей во всех журналах, до 35 наборов авточтения).

Счётчик АЛЬФА А1800 защищен прочным поликарбонатным корпусом.

Счетчик электроэнергии АЛЬФА СМАРТ AS1440.

Счётчик Альфа AS1440 (рис. 16.4) предназначен для измерения и учёта электрической энергии в одно- или многотарифном режиме, отображения и накопления данных об энергии и мощности, параметрах трехфазной электрической сети.

Рис. 16.4. Счетчик электроэнергии АЛЬФА СМАРТ AS1440

Расширенные функции и надежность позволяют широко использовать счётчик Альфа AS1440 как в системах АСКУЭ, на промышленных предприятиях, так в сетях низкого напряжения 6-10 кВ, для коммерческого энергоучета, в частном секторе для бытового учёта.

Функциональные возможности счётчика Альфа AS1440:

- измерение и учёт активной и реактивной энергии и мощности с классом точности 0,5S, 1 и 2 в одно- или многотарифном режиме;
- измерение и отображение параметров трехфазной электрической сети (токов, напряжений, частоты, коэффициента мощности);
- передача измеренных или вычисленных параметров на диспетчерский пункт по контролю, учёту и распределению электрической энергии по цифровым и импульсным каналам связи;
- самодиагностика;
- запись и хранение данных графиков нагрузки и параметров сети в памяти счётчика;
- подтверждение правильности принятой или передаваемой информации;
- съёмные модули коммуникации;
- надежный корпус и расширенные функции защиты.

Цифровые интерфейсы и модули связи. Скорость обмена информацией со счётчика может составлять 300…19200 бит/с благодаря интерфейсам:

- RS-232;
- RS-485.

Оптический порт и цифровые интерфейсы счётчиков работают, используя внутренний протокол обмена EN62056-21.
Для организации удаленного доступа к счетчику (в дополнение к цифровому интерфейсу) имеется возможность подключения встроенных в крышку зажимов Альфа AS1440 следующих устройств связи (модулей):

- GSM/GPRS-модема;
- PLC-модуля;
- модуля радиосвязи, 868 MHz;
- Ethernet-модуля.

Обмен данными выполняется по протоколу EN62056-21.

Первичный ток в счётчиках измеряется с помощью измерительных трансформаторов тока, имеющих малую линейную и угловую погрешность в широком диапазоне измерений. В цепи трансформаторов тока установлены шунтирующие резисторы, сигналы с которых поступают на вход измерительной микросхемы (Digital Signal Processor DSP).

Измеряемое напряжение каждой фазы через высоколинейные резистивные делители подается непосредственно на измерительную микросхему. Измерительная микросхема (DSP) осуществляет выборки входных сигналов токов и напряжений по каждой фазе, используя встроенные аналого-цифровые преобразователи, и выполняет различные вычисления для получения всех необходимых величин. С выходов DSP на микроконтроллер поступают интегрированные по времени сигналы активной и реактивной энергии.

Функции микроконтроллера:

- дальнейшая обработка полученной от DSP информации и накопление данных в энергонезависимой памяти (EEPROM);
- управление отображением информации на ЖКИ;
- вывод данных по энергии на выходные импульсные устройства;
- обмен по цифровому интерфейсу.

Измерение максимальной мощности счётчик осуществляет по заданным видам энергии. Усреднение мощности происходит на интервалах, длительность которых задаётся программно и может составлять 1, 2, 3, 5, 10, 15, 30 минут.

Счётчик Альфа AS1440 может быть запрограммирован на измерение энергии и максимальной мощности по вторичной или по первичной стороне измерительных трансформаторов.

Функции контроля и защиты.

Все счетчики Альфа AS1440 имеют ряд функциональных возможностей, которые позволяют предотвратить несанкционированный доступ к конфигурационным параметрам счетчика. Доступ к счетчику защищен трехуровневой системой паролей. В начальной стадии сеанса связи счетчик запрашивает пароль. Пароль представляет собой набор из 8 символов.

Счетчики Альфа AS1440 имеют возможность записи в память событий, происходивших со счетчиком, и дополнительной информации. События, записываемые счетчиком в память:

- перепрограммирование счетчика;

- отключение питания счетчика;
- количество нажатий на кнопку «RESET»;
- число дней после последнего сброса мощности;
- реверс энергии;
- регистрация изменений конфигурации;
- снятие крышки зажимов.

В процессе работы счетчик осуществляет контроль работоспособности всех элементов, проводя самодиагностику.

Задание. Ознакомиться с распространенными конструкциями счетчиков электрической энергии, применяемых в автоматизированных системах коммерческого учета электроэнергии**.**

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные возможности счетчиков для автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ).
2. Опишите возможности счетчика А2 АЛЬФА Плюс.
3. Назовите основные характеристики, функции микропроцессорного счётчика АЛЬФА А1800.
4. Назовите основные характеристики и функции счетчика АЛЬФА А1800.
5. Назовите основные характеристики и функциональные возможности счетчика электроэнергии АЛЬФА СМАРТ AS1440.

Практическая работа № 17

Автоматизированные системы коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ)

Цель работы: ознакомиться со структурой, вариантами построения автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ).

Структура АСКУЭ.

Одним из основных шагов в экономии энергоресурсов и снижении финансовых потерь предприятий является точный учет энергоресурсов, в том числе электроэнергии. Современная торговля энергоресурсами основана на использовании автоматизированного приборного энергоучета, сводящего к минимуму участие человека на этапе измерения, сбора и обработки данных и обеспечивающего достоверный, точный, оперативный и гибкий, адаптируемый к различным тарифным системам учет, как со стороны поставщика энергоресурсов, так и со стороны потребителя. С этой целью, и поставщики, и потребители внедряют на своих объектах автоматизированные системы коммерческого учета энергоресурсов – АСКУЭ. При наличии современной АСКУЭ предприятие полностью контролирует весь свой процесс энергопотребления и имеет возможность по согласованию с поставщиками энергоресурсов гибко переходить к разным тарифным системам, минимизируя свои энергозатраты. Сегодняшний день промышленных предприятий в области энергоучета связан с внедрением современных АСКУЭ.

В структуре АСКУЭ в общем случае можно выделить четыре уровня (рис. 17.1):

- первый уровень – первичные измерительные приборы (ПИП) с телеметрическими или цифровыми выходами, осуществляющие непрерывно или с минимальным интервалом усреднения измерение параметров энергоучета потребителей (потребление электроэнергии, мощность, давление, температуру и т.д.) по точкам учета;
- второй уровень – устройства сбора и подготовки данных (УСПД), специализированные измерительные системы или многофункциональные программируемые преобразователи со встроенным программным обеспечением энергоучета, осуществляющие в заданном цикле интервала усреднения круглосуточный сбор

измерительных данных с территориально распределенных ПИП, накопление, обработку и передачу этих данных на верхние уровни;

- третий уровень – персональный компьютер (ПК) или сервер центра сбора и обработки данных со специализированным программным обеспечением АСКУЭ, осуществляющий сбор информации с УСПД (или группы УСПД), итоговую обработку этой информации как по точкам учета, так и по их группам – по подразделениям и объектам предприятия, документирование и отображение данных учета в виде, удобном для анализа и принятия решений (управления) оперативным персоналом службы главного энергетика и руководством предприятия;
- четвертый уровень – сервер центра сбора и обработки данных со специализированным программным обеспечением АСКУЭ, осуществляющий сбор информации с ПК и/или группы серверов центров сбора и обработки данных третьего уровня, дополнительное агрегирование и структурирование информации по группам объектов учета, документирование и отображение данных учета в виде, удобном для анализа и принятия решений персоналом службы главного энергетика и руководством территориально распределенных средних и крупных предприятий или энергосистем, ведение договоров на поставку энергоресурсов и формирование платежных документов для расчетов за энергоресурсы.

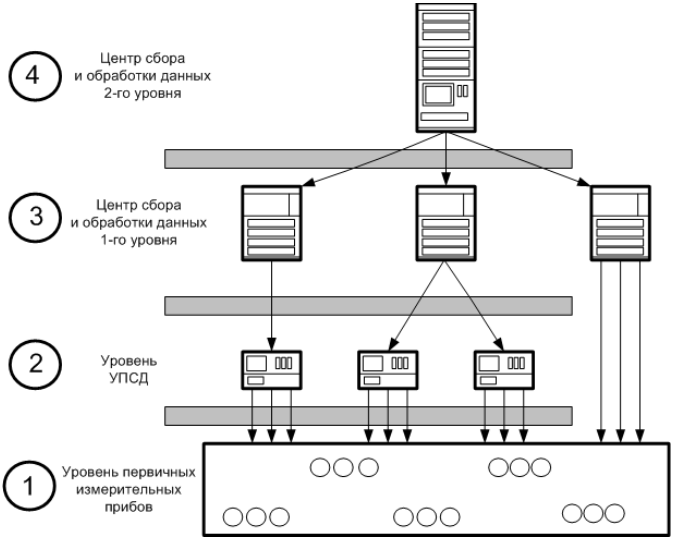


Рис. 17.1. Уровни АСКУЭ

Все уровни АСКУЭ связаны между собой каналами связи. Для связи уровней ПИП и УСПД или центров сбора данных, как правило, используется прямое соединение по стандартным интерфейсам (типа RS-485, ИРПС и т.п.). УСПД с центрами сбора данных 3-го уровня, центры сбора данных 3-го и 4-го уровней могут быть соединены по выделенным, коммутируемым каналам связи или по локальной сети.

АСКУЭ предприятий но назначению подразделяют на системы:

- *коммерческого* учета;
- *технического* учета.

Коммерческим (или расчетным) учетом называют учет поставки и потребления энергии предприятием для денежного расчета за нее. Для коммерческого учета характерно наличие небольшого количества точек учета, по которым требуется установка приборов повышенной точности, а сами средства учета нижнего и среднего уровня АСКУЭ должны выбираться из государственного реестра измерительных средств. Кроме того, системы коммерческого учета в обязательном порядке пломбируются, что ограничивает возможности внесения в них каких-либо оперативных изменений со стороны персонала предприятия.

Техническим (или контрольным) учетом называют учет для контроля процесса поставки и потребления энергии внутри предприятия по его подразделениям и объектам (соответственно используются приборы технического учета).

Для технического учета характерно большое количество точек учета с разными задачами контроля энергоресурсов, по которым можно устанавливать в целях экономии средств приборы пониженной точности. Технический контроль допускает использование приборов, не занесенных в Госреестр измерительных средств, однако, при этом могут возникнуть проблемы с выяснением причин небаланса данных по потреблению энергоресурсов от систем коммерческого и технического учета.

Варианты построения АСКУЭ.

1. Организация АСКУЭ с проведением опроса счетчиков через оптический порт. Это наиболее простой вариант организации АСКУЭ. Счетчики не объединены между собой. Между счетчиками и центром сбора данных нет связи. Все счетчики опрашиваются последовательно при обходе счетчиков оператором. Опрос производится через оптический порт с помощью программы, размещенной на переносном компьютере, которая формирует файл

результатов опроса. На компьютере центра сбора данных необходимы программные модули, формирующие файл-задание на опрос и загружающие информацию в основную базу данных. Синхронизация времени счетчиков происходит в процессе опроса со временем переносного компьютера. Синхронизация времени переносного компьютера со временем центра сбора данных производится в момент приема файлов заданий на опрос счетчиков. Для максимальной экономии средств на создание АСКУЭ в этом варианте роль центра сбора данных можно возложить на переносной компьютер.

Недостатками данного способа организации АСКУЭ является большая трудоемкость сбора данных со счетчиков и невозможность использования в системе индукционных или электронных счетчиков с импульсным выходом.

2. Организация АСКУЭ с проведением опроса счетчиков переносным компьютером через преобразователь интерфейсов, мультиплексор или модем (рис. 17.2).

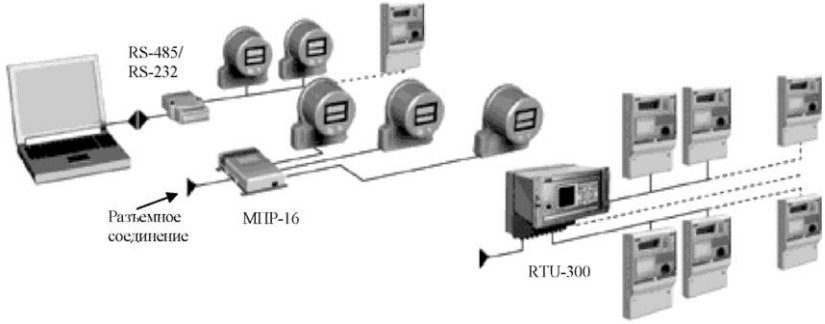


Рис. 17.2. Организация АСКУЭ с проведением опроса счетчиков переносным компьютером

Счетчики, объединенные общей шиной RS-485, или по интерфейсу «токовая петля» на мультиплексор (типа МПР-16), или устройством сбора и подготовки данных (УСПД) могут располагаться в различных распределительных устройствах и опрашиваться один или несколько раз в месяц с помощью программы, размещенной на переносном компьютере, которая формирует файл результатов опроса. Между счетчиками и центром сбора данных нет постоянной связи. УСПД выполняет роль коммуникационного сервера. На компьютере центра сбора данных

необходимы программные модули, формирующие файл-задание на опрос и загружающие информацию в основную базу данных. Синхронизация времени счетчиков происходит в процессе опроса со временем переносного компьютера. Синхронизация времени переносного компьютера со временем центра сбора данных производится в момент приема файлов заданий на опрос счетчиков. Выделенный компьютер для центра сбора данных в этом варианте также может отсутствовать, его роль может выполнять переносной компьютер.

3. Организация АСКУЭ с проведением автоматического опроса счетчиков локальным центром сбора и обработки данных. Счетчики постоянно связаны с центром сбора данных прямыми каналами связи и опрашиваются в соответствии с заданным расписанием опроса. Первичная информация со счетчиков записывается в базу данных. Синхронизация времени счетчиков происходит в процессе опроса со временем компьютера центра сбора данных. В качестве компьютера центра сбора данных используется локальная ПЭВМ. На ней же происходит обработка данных и ведение базы данных. В зависимости от количества пользователей, количества счетчиков и интервалов их профиля, квалификации пользователей, сложности математической обработки и т.д. локальная база данных может функционировать либо под MS Access, либо под СУБД ORACLE8.X. Сбор данных в базе данных происходит периодически с заданными интервалами.

4. Организация многоуровневой АСКУЭ для территориально распределенного среднего и крупного предприятия или энергосистемы (рис. 17.3). Основная часть счетчиков постоянно связана с центрами сбора данных первого уровня прямыми каналами связи и опрашивается в соответствии с заданным расписанием опроса, как в третьем способе организации АСКУЭ. Между некоторыми счетчиками и центром сбора данных первого уровня может не быть постоянной связи, они могут опрашиваться с помощью переносного компьютера, как во втором способе организации АСКУЭ. Первичная информация со счетчиков записывается в БД центров сбора данных первого уровня, на них же происходит обработка данных. В центрах сбора данных второго уровня осуществляется дополнительное агрегирование и структурирование информации, запись ее в базу данных центров сбора данных второго уровня. Центры сбора данных, как правило, выполняют только функции сбора и обработки данных, автоматизированные рабочие места (АРМ) пользователей подключаются к ним по локальной сети. При небольшом

количестве счетчиков на объекте центр сбора данных первого уровня может выполнять функции АРМ.

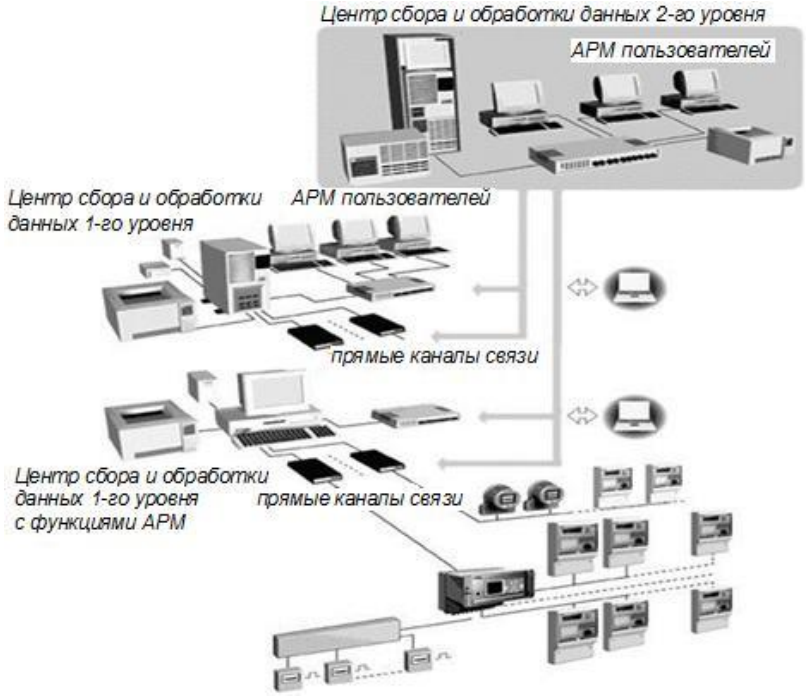


Рис. 17.3. Организация многоуровневой АСКУЭ для территориально распределенного среднего и крупного предприятия или энергосистемы

Центры сбора данных 1-го уровня связаны с центрами сбора данных 2-го уровня каналами связи. Каналы связи могут быть выделенными, коммутируемыми, прямым соединением по локальной сети. Сервер сбора данных центра сбора данных 2-го уровня автоматически запрашивает необходимую информацию из базы данных центров сбора данных 1-го уровня в соответствии с установленным расписанием.

Экономическая эффективность использования АСКУЭ предприятиями.

Результат использования АСКУЭ должен заключаться в постоянной экономии энергоресурсов предприятия при минимальных первоначальных затратах. Величина экономического эффекта от использования АСКУЭ предприятиями составляет в среднем

15…30% от годового потребления энергоресурсов. Окупаемость затрат на создание АСКУЭ происходит менее чем за 1 год.

Задание. Изучить структуру и варианты построения автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии.

Контрольные вопросы

1. Перечислите и охарактеризуйте уровни АСКУЭ.
2. Что называют коммерческим учетом?
3. Что называют техническим учетом?
4. Перечислите возможные варианты построения АСКУЭ.
5. В чем заключается экономическая эффективность использования АСКУЭ?

Практическая работа № 18

Состав автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ)

Цель работы: ознакомиться с оборудованием, входящим в состав автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ).

Система учета энергетических ресурсов, кроме *счетчиков электрической энергии* содержит элементы *передачи сигналов*, *накопления* и *обработки данных* учета, а также *систем автоматизированной обработки массивов данных* для расчета с энергоснабжающими потребителями. Рассмотрим назначение и свойства элементов системы.

GSM-коммуникатор.

GSM-коммуникатор (рис. 18.1) является основным связующим звеном между диспетчерским сервером и приборами учета электроэнергии. Он соединяет между собой каналы связи – GSM/GPRS, 433 МГц, RS-485, Ethernet.

Рис. 18.1. GSM коммуникатор

Имеется два типа GSM-коммуникаторов: GSM-Коммуникатор S (Smart) и GSM-Коммуникатор E (Embedded).

GSM коммуникатор S (Smart) (GCS) является связующим звеном между диспетчерским сервером и различными приборами учета. Для связи с диспетчерским сервером могут использоваться каналы связи GSM/GPRS/CSD и/или Ethernet (имеется два варианта встроенного ПО).

GSM коммуникатор E (Embedded) предназначен для встраивания в корпус прибора учета. В отличие от GSM коммуникатора S, он не имеет корпуса, встроенного аккумулятора, позволяет использовать только одну SIM-карту. Для связи с прибором учета используется интерфейс RS-485, радиоканал отсутствует.

В варианте встроенного программного обеспечения (ПО) «А» для связи с диспетчерским сервером используются каналы GPRS (основной канал) и CSD (резервный канал), интерфейс Ethernet не используется. В варианте встроенного ПО «В» в качестве основного канала используется Ethernet. GPRS канал является резервным. CSD не используется. Для обмена данными с приборами учета могут использоваться проводной (RS-485) и беспроводный (433 МГц) интерфейсы. Имеется встроенный аккумулятор, который позволяет сохранять работоспособность при пропадании питания в течение не менее 24 ч. GCS позволяет использовать две SIM-карты, при пропадании сети одного из операторов, GCS использует альтернативного оператора.

GSM-коммуникатор S состоит из:

- управляющего микроконтроллера;
- GSM/GPRS-модуля, осуществляющего прием-передачу данных через сеть GSM/GPRS;
- радио-контроллера 433 МГц, осуществляющего прием-передачу данных через локальный радиоканал 433 МГц;
- интерфейса Ethernet;
- интерфейса RS-485 для обеспечения проводного соединения с приборами учета или для прямого подключения (через преобразователь) к COM/USB порту компьютера;
- AC/DC-конвертора для питания устройства от сети переменного тока;
- аккумулятора;
- зарядного устройства для аккумулятора;
- антенны для радио-контроллера 433 МГц;
- антенны сети GSM.

GSM-Коммуникатор E (Embedded) представляет собой сильно упрощенную версию обычного GSM-Коммуникатора, он не имеет корпуса и предназначен для встраивания в корпус электросчетчика. GSM-коммуникатор E состоит из:

- управляющего микроконтроллера (используется микроконтроллер ATMega64(128) компании Atmel) (рис. 18.2);

- GSM/GPRS-модуля, осуществляющего прием-передачу данных через сеть GSM/GPRS (используется GSM/GPRS-модуль SIM300 компании SIMCOM);
- интерфейса RS-485 для обеспечения проводного соединения с прибором учета.

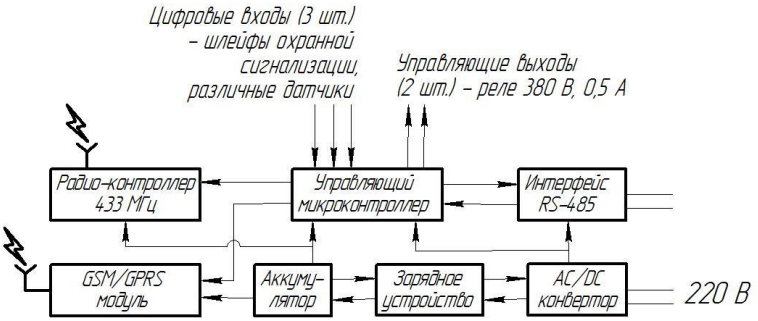


Рис. 18.2. Функциональная схема GSM коммуникатора

USB-коммуникатор.

USB-коммуникатор (далее – коммуникатор) (рис. 18.3) – это устройство беспроводной передачи данных между электрическими счетчиками и компьютерной системой управления. Коммуникатор работает в не лицензируемом диапазоне частот 434,72±0,007 МГц. Обмен данными со счетчиками производится через радиоадаптеры КНЕД.464512.002, которые принимают данные от коммуникатора по радиоканалу и передают их на счетчики по интерфейсу RS-485.

Рис. 18.3. USB-коммуникатор

Коммуникатор получает питание от USB-порта персонального компьютера. Обмен данными коммуникатора с компьютером происходит через USB-порт в режиме эмуляции COM-порта.

Предназначен для подключения ноутбука или компьютера к радиосети частотой 433 МГц, состоящей из *радиоадаптеров* и *ретрансляторов*. Данное устройство выполнено в отдельном металлическом корпусе, имеет USB кабель для связи с ноутбуком или компьютером и разъем для подключения внешней антенны. Основное назначение – инсталляция радиосети, поиск неисправностей в радиосети, автономная работа без использования сетей GSM/GPRS и Интернет.

Радиоадаптеры и ретрансляторы.

Составляют нижнее звено в сети передачи данных. Радиоадаптер работает в нелицензируемом частотном диапазоне 433 МГц. К одному радиоадаптеру можно подключить до 31 прибора учета. Основное отличие радиоадаптеров и ретрансляторов заключается в следующем.

Радиоадаптеры (рис. 18.4) вляются оконечными устройствами, которые могут принимать данные из центра только по радиоканалу, передавать эти данные приборам учета по интерфейсу RS-485, принимать от приборов учета подтверждение о выполнении команды и передавать это подтверждение в центр по радиоканалу.

Рис. 18.4. Радиоадаптер

Ретрансляторы выполняют все вышеперечисленные функции, а так же могут транслировать команды другим устройствам (ретрансляторам или радиоадаптерам) по радиоканалу. По умолчанию все новые устройства являются радиоадаптерами. Для того

чтобы радиоадаптер стал ретранслятором, ему выделяется персональный адрес в сети. Процедура выделения (отмены) персонального адреса производится дистанционно с компьютера. В одной сети может быть не более 250 ретрансляторов. В отличие от ретрансляторов, количество радиоадаптеров ограничено только адресным пространством протокола обмена, который применяется приборами учета. Для повышения надежности работы сети имеется возможность резервирования для ретрансляторов. Для резервирования выбирается радиоадаптер, который расположен рядом с ретранслятором, или устанавливается дополнительный радиоадаптер. Все настройки выполняются дистанционно. В процессе работы резервный ретранслятор может «на лету» подменить основной, при этом не потребуется изменять маршрут передачи данных.

Радиоадаптер состоит из:

- радио-контроллера 433 МГц, осуществляющего прием-передачу данных через локальный радиоканал 433 МГц;
- интерфейса RS-485, обеспечивающего проводное соединение с приборами учета и другими радио-адаптерами (ретрансляторами);
- AC/DC-конвертора для питания устройства от сети переменного тока;
- аккумулятора;
- зарядного устройства для аккумулятора;
- антенны для радио-контроллера 433 МГц.

Функциональная схема радиоадаптера с резервным питанием. В случае, если резервный аккумулятор не требуется, его можно не применять или использовать другую модификацию устройства с питанием только от электрической сети, что существенно дешевле. Для передачи данных по радиоканалу к радиоконтроллеру 433 МГц, входящему в состав радиоадаптера, подключается антенна, которая может быть внутреннего или внешнего исполнения. Антенна внутреннего исполнения, размещаемая в корпусе радиоадаптера, используется в основном для организации связи внутри помещений. Внутренняя антенна является всенаправленной, поэтому изделие не требует юстировки при инсталляции. Данный вариант является наиболее экономичным. Внешние (выносные) антенны в основном устанавливаются вне помещений для увеличения дальности связи. При этом радиоадаптер имеет высокочастотный разъем, через который подключается внешняя антенна.

Внешние антенны могут быть направленными или с круговой диаграммой направленности (всенаправленные). Антенна с круговой диаграммой направленности излучает сигнал равномерно во все стороны в горизонтальной плоскости. Направленная антенна используется для увеличения дальности связи в определенном направлении.

УСПД (Устройства сбора и передачи данных).

Устройства сбора и передачи данных (УСПД) (рис. 18.5) предназначены для высокоточного коммерческого учета потребления (выдачи) электрической энергии и мощности за фиксированные интервалы времени (в условиях многотарифности), технического учета и мониторинга заданных нагрузок в режиме реального времени. УСПД рассчитаны для применения на объектах энергетики, промышленных предприятиях, а также в других организациях, осуществляющих самостоятельные взаиморасчеты с поставщиками или потребителями электроэнергии. Функциональные возможности и производительность могут наращиваться, как за счет перехода от одной серии УСПД к другой, так и путем включения дополнительных модулей в контроллеры. Сбор данных с УСПД, к примеру, RTU-300 осуществляется по цифровым каналам со счетчиков типа АЛЬФА и ЕвроАЛЬФА (ИРПС «токовая петля», RS 232 и RS 422/485) и импульсным каналам со счетчиков, которые удовлетворяют всем типовым техническим требованиям к средствам автоматизации и учета электроэнергии и мощности для АСКУЭ энергосистем. УСПД имеют корпусное исполнение с защитой IP 65 и шкафное исполнение с защитой IP 55, позволяющее устанавливать их как непосредственно на объектах, так и в центрах сбора.

Рис. 18.5. Устройства сбора и передачи данных (УСПД)

Функциональные возможности. УСПД обеспечивает выполнение следующих функций:

- сбор, обработка, накопление, хранение и отображение данных со счетчиков электроэнергии измерительной информации о потребленной и выданной активной и реактивной энергии и мощности;
- объединение измерений, полученных со счетчиков в единые групповые измерения, соответствующие конкретным объектам;
- измерение энергии по заданным тарифам на заданном интервале времени;
- измерение средних мощностей на двух заданных временных интервалах усреднения (на одном из: 1-, 3-, 5-минутном и 15-, 30-минутном);
- поиск максимальных мощностей на заданных интервалах времени;
- ведение архивов заданной структуры;
- поддержание единого системного времени с целью обеспечения синхронных измерений;
- отслеживание превышения мощностью 2-х заданных лимитов;
- отображение показаний индикаторов счетчика по измеренной энергии;
- передача информации от RTU по физической линии, по коммутируемому или выделенному телефонному каналу (или другой физической среде) в центр сбора информации;
- ввод, накопление, хранение и отображение информации, поступающей из RTU, на центральном пункте учета;
- защита измерительной информации и метрологических характеристик от несанкционированного доступа и изменения;
- контроль работоспособности измерительно-вычислительного комплекса.

Подключение внешних устройств к УСПД производится но интерфейсам:

- RS-232 (более 32);
- RS-485/422 (более 32);
- Profibus;
- Ethernet.

Максимальная скорость при подключении к последовательным портам 38400 бит/с.

Устройства, подключаемые к УСПД, можно разделить на несколько групп:

- счетчики с цифровым интерфейсом;
- счетчики с импульсным выходом;
- аппаратура связи (в том числе Hayes-совместимые модемы, радиомодемы, преобразователи интерфейсов, различная каналообразующая аппаратура).

Для непосредственного подключения к отдельным УСПД, а также для считывания информации с группы УСПД (в случае, например, повреждении линии связи), существует возможность считывания УСПД непосредственно на объекте с помощью переносного портативного компьютера с последующей передачей данных на компьютер верхнего уровня. УСПД восстанавливает потерянную информацию из-за обрыва линий связи между счетчиком и RTU в автоматическом режиме. Инициатором обмена между верхним уровнем и УСПД является верхний уровень.

Программное обеспечение.

Программное обеспечение играет ключевую роль в функционировании систем коммерческого учета электроэнергии.

Функции программного обеспечения:

- дистанционное считывание данных результатов измерений приборов учета энергоресурсов;
- ведение журналов событий, в том числе событий несанкционированного доступа (вскрытие крышки, инверсия фаз и прочее);
- дистанционное управление нагрузкой и энергопотреблением;
- мониторинг состояния измерительного, связного и серверного оборудования;
- расчет потерь и сведение балансов;
- возможность обмена данными с аналогичными сертифицированными системами;
- гибкий инструмент для создания отчетов;
- личный кабинет абонента (web-версия, приложение для мобильных устройств, с возможностями анализа потребления и онлайн-оплаты).

Задание. Ознакомиться с оборудованием, входящим в состав автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ).

Контрольные вопросы

1. Перечислите оборудование, входящее в состав систем автоматизированного учета энергетических ресурсов.
2. Опишите назначение, устройство GSM-коммуникатора.
3. Опишите назначение, устройство USB-коммуникатора.
4. Назовите назначение радиоадаптера и ретранслятора.
5. Назовите назначение и функциональные возможности устройства сбора и передачи данных.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев, С. И. Электротехника и электроника : практикум. Ч. 1. Линейные электрические цепи / С. И. Васильев, И. В. Юдаев. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2016. – 133 с.

2. Гордеев, А. С. Энергосбережение в сельском хозяйстве / А. С. Гордеев, Д. Д. Огородников, И. В. Юдаев. – СПб. : Лань, 2014. – 384 с.

3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 2014-07-01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 20 с.

4. ГОСТ Р 53905-2010. Энергосбережение. Термины и определения. – Введ. 2010-11-09. – М. : Стандартинформ, 2011. – 15 с.

5. Государственная информационная система в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://gisee.ru.

6. Российская Федерация. Законы. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : федер. закон [принят Гос. думой 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ] [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.ru/2009/11/27/energo-dok.html.

7. Гриднева, Т. С. Электроснабжение : практикум / Т. С. Гриднева. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2015. – 111 с.

8. Климова, Г. Н. Энергосбережение на промышленных предприятиях : учебное пособие / Г. Н. Климова. – Томск : Изд-во Томского политехнического ун-та, 2008. – 186 с.

9. Сибикин, М. Ю. Технология энергосбережения : учебник / М. Ю. Сибикин, Ю. Д. Сибикин. – М. : НИЦ ИНФРА-М, 2006. – 352 с.

10. Тарасов, С. Н. Электрический привод : практикум / С. Н. Тарасов, С. С. Нугманов. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2017. – 105 с.

11. Тарасов, С. Н. Электрические машины : практикум / С. Н. Тарасов, Т. С. Гриднева. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2016. – 98 с.

12. Фролов, Ю. М. Электроснабжение : учебное пособие / Ю. М. Фролов, В. П. Шелякин. – СПб. : Лань, 2012. – 480 с.

13. Хорольский, В. Я. Энергосбережение в электроустановках предприятий, организаций и учреждений / В. Я. Хорольский, И. В. Атанов, В. Н. Шемякин. – Ставрополь : АГРУС, 2011. – 100 с.

14. Юндин, М. А. Курсовое и дипломное проектирование по электроснабжению сельского хозяйства : учебное пособие / М. А. Юндин, А. М. Королев. – СПб. : Лань, 2011. – 320 с.

15. Янукович, Г. И. Электроснабжение сельского хозяйства : практикум / Под ред. Г. И. Януковича. – Минск : Новое знание, 2014. – 516 с.

АЛФАВИТНО-ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

GSM-коммуникатор 124
USB-коммуникатор 126

Анализатор качества электроэнергии 86
АСКУЭ 108, 117, 124
Блок обработки сигналов 90
Вентилятор 58
Время
  использования максимума нагрузки 17
  потерь 17
Государственная программа 9
График нагрузки 78
Дальномер 86
Емкость конденсатора 27, 31
Инвертор 30
Индекс энергоэффективности 64
Информационно-измерительная система 85
Качество электроэнергии 79
Класс энергоэффективности 64
Ключ тиристорный 34
Колебание напряжения 80
Компенсатор статический тиристорный 34
Компенсация реактивной мощности 25
Компрессор 61
Конденсатор
  статический 27
  косинусный 31
Конденсаторная батарея 26, 30, 32
Конденсаторная установка 32
Коэффициент
  включения 78
  естественной освещенности 82
  загрузки 38, 78
  мощности 25, 30, 37, 78
  полезного действия 57
  связи 19
Лампа
  накаливания 6, 50, 70
  галогенная 50, 70
  люминесцентная 50, 70
  компактная люминесцентная 51
  разрядная высокого давления 52
  светодиодная 52, 70
Люксметр 86, 89
Мощность
  активная 21, 25, 26, 37, 57, 70, 78
  реактивная 25, 30
  номинальная 37
  присоединенная 42
Напряжение 17, 27, 37, 42, 79
Несимметрия напряжения 80
Ограничитель холостого хода 46
Освещение 50
Освещенность 91
Отклонение напряжения 42, 54, 79
Пирометр 83
Показатели качества электроэнергии 79, 95
Потери
  нагрузочные 16
  технологические 16
  электроэнергии 16, 20, 25, 37, 92
Прибор 85
Приведенные затраты 19
Программа по энергосбережению 73
Программное обеспечение 131
Радиоадаптер 127
Реактор 30

Ретранслятор 127
Регулятор частоты 47
Система
освещения 81
электроснабжения 77
Сопротивление провода 21
Счетчик электроэнергии 85, 124
индукционный 97
электронный 97, 99
для АСКУЭ 108
Тепловизионное обследование 83
Тепловизор 83, 86
Термометр цифровой 86
Тиристор 30, 34
Трансформатор 37
Установка
насосная 57
электрокалориферная 60
сварочная 61
Устройство сбора и передачи данных 129
Учет электрической энергии 119
Федеральный Закон 4
Фликер 80
Фотометрическая головка 90
Холостой ход 46
Экономия электроэнергии 20
Экспресс-обследование 75
Электродвигатель 42
Электропривод 42
частотно-регулируемый 47
Энергетическая эффективность 6, 64
Энергетическое обследование 71, 75
Энергетический аудит 71
Энергетический баланс 95
Энергетический паспорт 72

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие……... 3
Практическая работа № 1. Изучение Федерального Закона Российской Федерации «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности»…… 4
Практическая работа № 2. Изучение Государственной программы Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года»……. 9
Практическая работа № 3. Экономия электроэнергии в электрических сетях……... 16
Практическая работа № 4. Компенсация реактивной мощности в электрических сетях……... 25
Практическая работа № 5. Устройства для компенсации реактивной мощности……... 30
Практическая работа № 6. Снижение потерь электроэнергии в силовых трансформаторах……. 37
Практическая работа № 7. Энергосбережение при использовании электродвигателей…….. 42
Практическая работа № 8. Экономия электроэнергии в осветительных установках…….. 50
Практическая работа № 9. Экономия электроэнергии в технических установках…… 57
Практическая работа № 10. Энергоэффективность бытовых электрических устройств…….. 64
Практическая работа № 11. Энергоаудит и энергетическое обследование предприятий…….. 71
Практическая работа № 12. Энергетическое обследование электроустановок…….. 75
Практическая работа № 13. Приборы для проведения инструментального обследования……. 85
Практическая работа № 14. Обработка результатов энергетического обследования электроустановок…… 92
Практическая работа № 15. Учет электрической энергии на предприятиях……. 97
Практическая работа № 16. Счетчики для автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии…… 108
Практическая работа № 17. Автоматизированные системы коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ)…….. 117
Практическая работа № 18. Состав автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ)…… 124
Рекомендуемая литература……..……. 133
Алфавитно-предметный указатель…….. 134

Учебное издание

Гриднева Татьяна Сергеевна
Нугманов Сергей Семенович

Энергосбережение в электроснабжении АПК

Практикум

Подписано в печать 13.12.2018. Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л. 7,96, печ. л. 8,56.
Тираж 100. Заказ №348.
Отпечатано с готового оригинал-макета в редакционно-издательском отделе ФГБОУ ВО Самарской ГСХА
446442, Самарская область, г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2
E-mail: ssaariz@mail.ru

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Самарская государственная сельскохозяйственная академия»

И. В. Юдаев, С. В. Машков, М. Р. Фатхутдинов

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ

Учебное пособие содержит сведения, необходимые для формирования профессиональных компетенций при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Агроинженерия», и рекомендуется Научно-методическим советом по технологиям, средствам механизации и энергетическому оборудованию в сельском хозяйстве Федерального УМО по сельскому, лесному и рыбному хозяйству для использования в учебном процессе

Кинель 2018

УДК 621.3
Ю16

Рецензенты:
д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой
«Электрооборудование и электротехнологии в АПК»
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет им. В. Я. Горина»
С. В. Вендин;
д-р техн. наук, проф., руководитель научного направления
«Энергообеспечение в АПК»
ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»
А. Н. Васильев

Юдаев, И. В.
Ю16 Расчет электротермических процессов и оборудования : учебное пособие / И. В. Юдаев, С. В. Машков, М. Р. Фатхутдинов. – Кинель : РИО Самарской ГСХА, 2018. – 218 с.
ISBN 978-5-88575-541-2

В пособии представлены общие сведения и положения из теории преобразования электрической энергии в тепловую, а также методы расчёта и выбора нагревателей и электротермического оборудования, используемого в сельскохозяйственном производстве. Подробно рассмотрены примеры теплотехнических расчетов, а также расчетов электрических нагревателей и электротермического оборудования.

Предназначено для подготовки бакалавров и магистров по направлениям 35.03.06 и 35.04.06 «Агроинженерия». Учебное издание рассчитано на преподавателей, студентов и специалистов в области электрификации сельского хозяйства, электрического нагрева и электротехнологии.

УДК 621.3

ISBN 978-5-88575-541-2

© ФГБОУ ВО Самарская ГСХА, 2018
© Юдаев И. В., Машков С. В., Фатхутдинов М. Р., 2018

Предисловие

Учебное пособие разработано в соответствии с основными разделами Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Цель пособия – закрепить студентами учебный материал, развить способность и готовность производить расчеты электротермических процессов и оборудования.

Учебное пособие содержит 9 разделов, в которых отражаются необходимые для расчетов теоретические сведения, графический материал. В конце каждого раздела приведены контрольные задания и вопросы для самостоятельного контроля изученного материала.

В процессе выполнения заданий обучающиеся изучают положения теории преобразования электрической энергии в тепловую, а также учатся применять методы расчёта и выбора нагревателей и электротермического оборудования, используемого в сельскохозяйственном производстве.

В процессе изучения учебного пособия у обучающихся должны формироваться следующие профессиональные компетенции:

– готовность к участию в проведении исследований рабочих и технологических процессов машин;

– готовность к профессиональной эксплуатации машин и технологического оборудования и электроустановок;

– способность и готовность организовать на предприятиях агропромышленного комплекса высокопроизводительное использование и надежную работу сложных технических систем для производства, хранения, транспортировки и первичной переработки продукции растениеводства и животноводства;

– способность и готовность рассчитывать и оценивать условия и последствия (в том числе экологические) принимаемых организационно-управленческих решений в области технического и энергетического обеспечения высокоточных технологий производства сельскохозяйственной продукции;

– способность проведения инженерных расчетов для проектирования систем и объектов.

Введение

Под электротехнологией понимают область науки и техники, охватывающей изучение, исследование и применение таких технологических процессов, в которых непосредственно участвует электрическая энергия, преобразуясь в рабочем пространстве в различные другие виды энергии, например: тепловую, химическую, механическую и т.п. Во многих процессах, где применяется электрическая энергия, электрический ток является не просто энергоносителем, но также и инструментом воздействия на материалы, объекты, среду, продукты обработки.

Установки, в которых происходит преобразование электрической энергии в другие виды с одновременным и непосредственным её использованием в технологических процессах, называют *электротехнологическими*. К ним относятся: электрические печи и электронагревательные установки, электросварочное оборудование всех видов, электросепараторы, аппараты для размерной электрофизической и электрохимической обработки металлов и т.п.

Методы электротехнологии отличаются высокой эффективностью, универсальностью и возможностью применения их для непосредственного воздействия на различные объекты, в том числе и на живые организмы и среду их обитания. При этом улучшается качество обрабатываемых материалов и продуктов, повышается продуктивность растений и животных, улучшается производственная среда.

Принято разделять электротехнологические процессы и соответствующие им электроустановки на следующие классы:

– электротермические процессы и установки, в которых используется превращение электрической энергии в тепловую для нагрева сред, материалов и изделий в целях изменения их свойств, характеристик или формы, а также для их плавления и испарения;

– электросварочные процессы и оборудование, в котором получаемая из электрической энергии тепловая энергия используется для нагрева тел в целях осуществления неразъемного соединения с обеспечением непосредственной однородности материала или материалов в месте сварки;

– электрофизические процессы и установки, в которых для воздействия на материалы используется превращение электрической энергии в механическую, тепловую и другие виды энергии;

– электрохимические процессы и установки, в которых с помощью электрической энергии осуществляется разложение химических соединений или их разделение путем перемещения заряженных частиц (ионов) в жидкой среде под действием электрического поля;

– аэрозольные технологии, при которых энергия электрического поля используется для сообщения электрического заряда взвешенным в газовом потоке мелким частицам вещества с целью перемещения их под действием электрического поля в нужном направлении и т.п.

Термин *«электротехнологические установки (оборудование)»* включает в себя агрегаты, в которых осуществляются электротехнологические процессы, а также вспомогательные электротехнические аппараты и приборы (источники питания, устройства защиты, управления и др.).

Электрический нагрев или электротермия – раздел науки и технологии, изучающей преобразование электроэнергии в термическую энергию для полезных целей (СТ МЭК 50(841)-83).

Электронагревательным называется устройство, в котором электрическая энергия непосредственно или за счет косвенных преобразований превращается в тепловую энергию.

1. Основы теплового расчета электротермических установок

1.1. Общие положения из теории массо- и теплопередачи

В процессе теплообмена, при тепловом воздействии одного, более нагретого тела, на другое, менее нагретое, внутренняя энергия первого тела уменьшается, а второго, в соответствии с законом сохранения энергии, – настолько же увеличивается. При протекании этого процесса теплота, в соответствии со вторым началом термодинамики, самопроизвольно переходит от более нагретого тела к менее нагретому.

Процесс теплообмена протекает тем интенсивнее, чем выше разность температуры тел, обменивающихся теплотой. При отсутствии разности температур, процесс теплообмена прекращается, и наступает тепловое равновесие тел.

Различают три способа распространения и передачи тепла в природе: теплопроводность, конвекция и тепловое излучение (лучеиспускание) и два вида теплообмена между телами: конвективный и лучистый. Элементарные виды теплопередачи (теплопроводность, конвекция и тепловое излучение) в чистом виде встречаются крайне редко, поэтому обычно один вид теплообмена сопряжен с другими видами и это определяет протекание сложного типа теплообмена.

Теплопроводность представляет собой процесс передачи теплоты в неравномерно нагретом теле или непосредственно соприкасающихся телах, при котором теплоту переносят микрочастицы веществ, перемещающиеся из областей высокой температуры в области низких температур. В наиболее чистом виде теплопроводность проявляется внутри твёрдых монолитных тел или в очень тонких неподвижных слоях жидкости или газа. Теплота передаётся лишь при наличии разности температур между частями тела, системами тел и т.д., то есть в температурном поле.

На основании гипотезы Фурье тепловой поток $Ф$, Вт, передаваемый, например, через плоскую стенку, определяется как

$$\Phi = \lambda \cdot F \cdot \frac{\Delta t}{\Delta_{ст}} = F \cdot \frac{\Delta t}{R_m}, \qquad (1.1)$$

где Δt – разность температур на поверхностях стенки, через которую осуществляется передача тепла, °С; λ – теплопроводность материала стенки, Вт/(м·°С); $\Delta_{ст}$ – толщина стенки, м; R_m – термическое сопротивление теплопроводности стенки, (м^2·°С)/Вт; F – площадь стенки, через которую осуществляется передача тепла, м^2.

Термическое сопротивление теплопроводности стенки R_m, (м^2·°С)/Вт, тем больше, чем больше толщина стенки и чем меньше коэффициент теплопроводности материала из которого она изготовлена:

$$R_m = \frac{\Delta_{ст}}{\lambda}. \qquad (1.2)$$

Теплопроводность тел объясняется тепловым движением структурных частиц тела (молекул, атомов, свободных электронов). Лучше проводят теплоту чистые и жидкие металлы, технические сплавы металлов, хуже неметаллические твердые материалы, а органические и неорганические жидкости и газы – плохие проводники теплоты.

Объяснить это достаточно просто. Атомы металлов расположены на определенном расстоянии по отношению один к другому, образуют кристаллическую решетку. Теплота в них передается вследствие колебания кристаллической решетки, но еще в большей мере вследствие хаотичного движения свободных электронов, слабо связанных с атомами и способных от последних отрываться. В результате движения свободных электронов выравнивается температура во всех точках нагреваемого или охлаждаемого металла.

Во многих твердых телах, например строительных или теплоизоляционных материалах, теплота передается теплопроводностью от одних частиц к другим в виде упругих волн только за счет их колебательного движения, в связи с отсутствием в этих материалах свободных электронов.

Теплопроводность пористых материалов по своему значению еще меньше, чем у твердых не проводящих тепло материалов, в связи с тем, что воздух, заполняющий поры, обладает малой теплопроводностью.

Коэффициент теплопроводности порошкообразных и пористых тел тем меньше, чем меньше их плотность, так как у менее

плотного тела больше воздушных пор. Для влажного пористого тела коэффициент теплопроводности значительно больше, чем для сухого тела и воды в отдельности. Материалы с коэффициентом теплопроводности λ меньше 0,25 Вт/м·°С относятся к так называемым теплоизоляционным материалам.

Газы и жидкости, органической и неорганической природы, а также их водные растворы – плохие проводники теплоты, обладающие высоким коэффициентом теплопроводности.

С ростом температуры коэффициент теплопроводности газов, теплоизоляционных материалов увеличивается, а металлов и жидкостей – уменьшается.

Полное термическое сопротивление многослойной плоской стенки $R_{m\Sigma}$, (м^2·°С)/Вт, равно сумме термических сопротивлений отдельных слоев стенки:

$$R_{m\Sigma} = R_{m1} + R_{m2} + \ldots + R_{m\text{n}}. \qquad (1.3)$$

Эквивалентный коэффициент теплопроводности многослойной плоской стенки λ_{Σ}, Вт/(м^2·°С):

$$\lambda_{\Sigma} = \frac{\Delta_{cm\Sigma}}{\frac{\Delta_{cm1}}{\lambda_1} + \frac{\Delta_{cm2}}{\lambda_2} + \ldots + \frac{\Delta_{cmn}}{\lambda_{\text{n}}}}, \qquad (1.4)$$

где R_{m1}, R_{m2}, ... R_{mn} – термическое сопротивление теплопроводности отдельных слоев плоской стенки, (м^2·°С)/Вт; λ_1, λ_2, ... λ_n – теплопроводность материала отдельных слоев плоской стенки, Вт/(м·°С); Δ_{cm1}, Δ_{cm2}, ... Δ_{cmn} – толщина отдельных слоев плоской стенки, м; $\Delta_{cm\Sigma}$ – толщина многослойной плоской стенки, м.

Тепловое сопротивление цилиндрической стенки R_m, (м^2·°С)/Вт:

$$R_m = \frac{1}{2\pi \cdot L \cdot \lambda} \ln \frac{d_н}{d_{вн}}, \qquad (1.5)$$

где λ – теплопроводность материала цилиндрической стенки, Вт/(м·°С); L – длина цилиндра (высота стенки), м; $d_н$ – наружный диаметр цилиндрической стенки, м; $d_{вн}$ – внутренний диаметр цилиндрический стенки, м.

Тепловое сопротивление сферической стенки R_m, (м^2·°С)/Вт:

$$R_m = \frac{\frac{1}{d_{вн}} - \frac{1}{d_н}}{2\pi \cdot \lambda}, \qquad (1.6)$$

где λ – теплопроводность материала сферической стенки, Вт/(м·°С); $d_{нар}$ – наружный диаметр сферической стенки, м; $d_{вн}$ – внутренний диаметр сферической стенки, м.

Конвекция – процесс переноса теплоты текущей жидкостью или газом из области с одной температурой в область с другой температурой. Различают теплоотдачу при вынужденном движении жидкости или газа (вынужденная конвекция) и при свободном движении (естественная конвекция).

Свободная конвекция тем интенсивнее, чем больше разность температур горячих и холодных слоев жидкости или газа, чем больше коэффициент объемного расширения жидкости или газа и чем меньше их кинематический коэффициент вязкости, так как большая вязкость затрудняет возникновение конвективных токов воды или газа.

Свободные конвективные токи, с точки зрения практического применения, не обеспечивают необходимой интенсивности распространения теплоты. Для устранения этого недостатка конвекцию усиливают искусственно за счет применения внешних побудителей – насосов, компрессоров, вентиляторов, дымососов. Поток жидкости или газа по каналам или трубам любой формы, побуждаемый внешней силой, называется вынужденным конвективным потоком, а соответствующее при этом распространение тепла – вынужденной или искусственной конвекцией.

Конвекция теплоты всегда сопровождается теплопроводностью: при движении жидкости или газа неизбежно соприкосновение отдельных частиц с различной температурой. При соприкосновении, например, потока жидкости или газа с более холодной стенкой теплота передается от жидкости или газа к стенке конвекцией и теплопроводностью. Конвективный теплообмен между поверхностью твердого тела одной температуры и потоком жидкости или газа с другой температурой называют *конвективной теплоотдачей.*

Тепловой поток Φ, Вт, при конвективном теплообмене между стенкой и потоком жидкости (или газа) рассчитывают по формуле Ньютона-Рихмана:

$$\Phi = \alpha \cdot F \cdot \Delta t = \alpha \cdot F \cdot (t_c - t_{ж}), \qquad (1.7)$$

где Δt – разность температур на стенке t_c и потока жидкости или газа $t_{ж}$, °С; α – коэффициент теплоотдачи конвекции, Вт/(м^2·°С); F – площадь поверхности теплообмена, м^2.

Разность температур стенки и жидкости или газа $\Delta t = (t_c - t_{ж}) = (t_c - t_г)$, обменивающихся теплотой, называется *температурным напором*.

Коэффициент теплоотдачи конвекции α, Вт/(м^2·°С), является сложной функцией многих переменных: вида конвекции (естественная или вынужденная), физических свойств жидкости (газа), ее скорости, температуры тела и жидкости, формы и размеров тела и других факторов.

Значения коэффициента теплоотдачи α для различных условий теплообмена получают главным образом экспериментально. Результаты исследований обрабатывают в соответствии с теорией подобия и представляют в виде критериальных уравнений. Например, теплоотдачу от трубчатых нагревателей в поперечном потоке газа описывают уравнением вида:

$$Nu = C \cdot \mathrm{Pr}^n \cdot \mathrm{Re}^m, \tag{1.8}$$

В уравнение (1.8) входят:

– критерий Нуссельта:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}, \tag{1.9}$$

– критерий Рейнольдса:

$$\mathrm{Re} = \frac{\upsilon \cdot d}{\nu}, \tag{1.10}$$

– критерий Прандтля:

$$\mathrm{Pr} = \frac{\nu}{a}, \tag{1.11}$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м^2·°С); λ – коэффициент теплопроводности воздуха или газа, Вт/(м·°С); υ – скорость потока воздуха или газа в узком сечении пучка нагревателей, м/с; ν – коэффициент динамической вязкости воздуха или газа, Па·с; d – размер обтекаемого воздухом тела (диаметр провода или трубки и т.п.), м.; a – коэффициент температуропроводности воздуха или газа, м^2/с; C – постоянная величина; m и n – показатели степени, которые зависят от режима обтекания нагревателей воздухом или газом, их размещения и т.п.

Для некоторых простых условий теплообмена коэффициент α определяют по следующим формулам.

При свободной конвекции:

1) для вертикальных стенок и труб:

$$\alpha = 3{,}26 \cdot \sqrt[4]{\Delta t}, \qquad (1.12)$$

где Δt – температурный напор или разность температур на стенке (трубе) t_c и потока жидкости или газа $t_{ж}$, °С;

2) для горизонтальных стенок и труб, обращенных теплоотдающей поверхностью вверх:

$$\alpha = 2{,}55 \cdot \sqrt[4]{\Delta t}; \qquad (1.13)$$

3) для горизонтальных стенок и труб, обращенных теплоотдающей поверхностью вниз:

$$\alpha = 1{,}63 \cdot \sqrt[4]{\Delta t}. \qquad (1.14)$$

При вынужденной конвекции простое, прямое определение коэффициента α достаточно затруднительно, поэтому для технических расчетов зачастую применяют, как уже говорилось ранее, различные критериальные оценки, например: критерий Нуссельта, Рейнольдса и др. При вынужденной конвекции коэффициент α зависит главным образом от скорости движения среды.

При принудительном движении воздуха вдоль стенки со скоростью более υ=5 м/с коэффициент α можно определить следующим образом:

$$\alpha = 7{,}12 \cdot \upsilon^{0{,}78}. \qquad (1.15)$$

При поперечном обтекании воздухом спиральных проволочных и зигзагообразных ленточных нагревателей определить коэффициент α можно по следующим формулам:

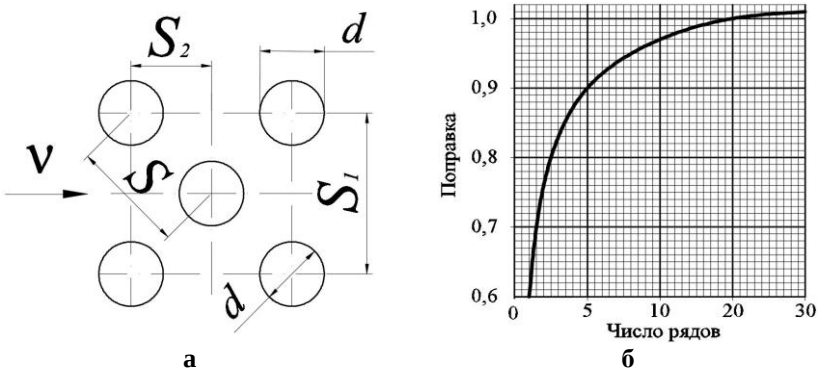
– при числе $Re \leq 1000$:

$$\alpha = 10{,}79 \cdot \frac{\lambda^{0{,}62} \cdot c^{0{,}38} \cdot \delta^{0{,}47} \cdot \upsilon^{0{,}47}}{\nu^{0{,}09} \cdot d^{0{,}53}}, \qquad (1.16)$$

– при числе $Re > 1000$:

$$\alpha = 2{,}73 \cdot \frac{\lambda^{0{,}62} \cdot c^{0{,}38} \cdot \delta^{0{,}62} \cdot \upsilon^{0{,}62}}{\nu^{0{,}24} \cdot d^{0{,}38}}, \qquad (1.17)$$

где λ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·°С); c – удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·°С); δ – плотность воздуха, кг/м^3; υ – скорость потока воздуха, м/с; ν – коэффициент динамической вязкости воздуха, Па·с; d – размер обтекаемого воздухом тела (диаметр провода или трубки и т.п.), м.



а **б**

Рис. 1.1. К расчету теплоотдачи трубчатых нагревателей при поперечном обтекании:

а – схема расположения нагревателей; б – поправка на число продольных рядов

Для случая поперечного обтекания воздухом пучков гладких труб при их «шахматной» компоновке (рис. 1.1, а) коэффициент теплообмена α можно определить:

– при $(s_1\text{-}d)/(s\text{-}d) \geq 0{,}7$:

$$\alpha = 0{,}39 \cdot C \cdot \frac{\lambda \cdot \mathrm{Pr}^{0{,}35}}{d^{0{,}40}} \cdot \left(\frac{s_1 - d}{s - d}\right)^{0{,}25} \cdot \left(\frac{\upsilon}{\nu}\right)^{0{,}60}, \qquad (1.18)$$

– при $(s_1\text{-}d)/(s\text{-}d) < 0{,}7$:

$$\alpha = 0{,}36 \cdot C \cdot \frac{\lambda \cdot \mathrm{Pr}^{0{,}35}}{d^{0{,}40}} \cdot \left(\frac{\upsilon}{\nu}\right)^{0{,}60}, \qquad (1.19)$$

где $s = \sqrt{0{,}25 \cdot s_1^2 + s_2^2}$ – диагональный шаг нагревателей, м; d – диаметр трубы, м; C – поправочный коэффициент, зависящий от числа рядов нагревателей z в продольном направлении (рис. 1.1, б).

Коэффициент α при поперечном обтекании пучков труб с поперечным ребрами (оребренные трубчатые электронагреватели (ТЭНы) в электрокалориферах) и при их «шахматной» компоновке определяется по формуле

$$\alpha = 0{,}213 \cdot \frac{\lambda_в}{b^{0{,}35}} \cdot \mathrm{Pr}^{0{,}35} \cdot \left(\frac{d}{b}\right)^{-0{,}54} \cdot \left(\frac{h_p}{b}\right)^{-0{,}14} \cdot \left(\frac{\upsilon}{\nu}\right)^{0{,}65}, \qquad (1.20)$$

где b – шаг оребрения, м; h_p – высота оребрения, м.

Физические характеристики воздуха или газа в формулах (1.16-1.20) берут для средней температуры потока.

Теплопередача от открытых нагревателей осуществляется конвекцией и излучением. С повышением температуры интенсивность теплопередачи излучением растет быстрее, чем конвекцией, и становится особенно заметной при температурах поверхности свыше 500°С.

Тепловое излучение – процесс переноса теплоты от одного тела к другому посредством электромагнитных волн через разделяющую тела среду, прозрачную для волн. На поверхности излучающего тела происходит превращение внутренней энергии тела в энергию электромагнитных волн различной длины, которые затем распространяются в свободном пространстве со скоростью света.

Большинство твердых и жидких тел излучают энергию всех длин волн от 0 до ∞ или, как говорят, имеют сплошной спектр. Чистые металлы и газы излучают энергию только в определенных интервалах длин волн или, как говорят, имеют прерывистый спектр, а их излучение является прерывистым или селективным.

Излучение всех тел в значительной степени зависит от абсолютной температуры их поверхности: с ростом температуры увеличивается интенсивность в целом и при этом повышается интенсивность коротковолнового при одновременном снижении длинноволнового излучения, что и определяет «цвет» излучения.

Наибольшей излучательной способностью обладает так называемое абсолютно черное тело, поток излучения Φ, Вт, которого определяется законом Стефана-Больцмана:

$$\Phi = \sigma_0 \cdot F \cdot T^4 = C_0 \cdot F \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4 = 5{,}67 \cdot F \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4, \qquad (1.21)$$

где σ_0 – постоянная Стефана-Больцмана, σ_0=5,67·10^{-8} Вт/(м^2·К^4); C_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, C_0=5,67 Вт/(м^2·К^4); T – абсолютное значение температуры поверхности тела, К; F – площадь поверхности излучения, м^2.

Для реальных тел, часто называемых серыми, излучательная способность меньше излучательной способности абсолютно черных тел. Поток излучения серого тела Φ, Вт:

$$\Phi = C \cdot F \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4 = \varepsilon \cdot C_0 \cdot F \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4 = 5{,}67 \cdot \varepsilon \cdot F \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4, \quad (1.22)$$

где $C = \varepsilon \cdot C_0$ – коэффициент излучения серого тела, Вт/(м^2·К^4); ε – степень черноты серого тела ($\varepsilon \leq 1$), представляющая собой отношение излучательной способности реального (серого) тела к излучательной способности абсолютно черного тела при той же самой температуре; T – абсолютное значение температуры поверхности серого тела, К; F – площадь поверхности излучения серого тела, м^2.

Энергия излучения, попадая на какое-либо тело, частично им поглощается, а часть ее проходит сквозь тело. Тело, поглощающее все падающие на него лучи, воспринимается зрением как черное тело, поэтому оно и называется абсолютно черным телом. Серые тела не поглощают всей падающей на них лучистой энергии, при этом непоглощенную энергию эти тела отражают или пропускают сквозь себя. Тела, пропускающие всю падающую на них энергию, называются прозрачными или диатермическими.

В результате излучения энергии одним телом, более нагретым, и поглощения его другим телом, менее нагретым, происходит лучистый теплообмен.

Тепловой поток Φ, Вт, передаваемый от излучателя, имеющего температуру T_1, К, к нагреваемому телу с температурой T_2, К, определяют по формуле, основанной на том же законе Стефана-Больцмана,

$$\Phi = 5{,}67 \cdot c_{пр} \cdot F_{пр} \cdot \left(\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right), \qquad (1.23)$$

где $c_{пр}$ – приведенная степень черноты для системы из двух тел; T_1, T_2 – абсолютное значение температуры излучателя и нагреваемого тела, К; $F_{пр}$ – взаимная поверхность излучения (приведенная площадь поверхности) тел (излучателя и нагреваемого тела), участвующих в теплообмене, м^2.

Взаимная поверхность излучения (приведенная площадь поверхности) тел (излучателя и нагреваемого тела), участвующих в теплообмене определяется по следующей формуле, м^2:

$$F_{пр} = \varphi_{12} \cdot F_1 = \varphi_{21} \cdot F_2, \qquad (1.24)$$

где F_1, F_2 – площадь поверхностей участвующих в теплообмене тел, м^2; φ_{12}, φ_{21} – средние по поверхности коэффициенты облученности тел, показывающие, какая часть полусферического теплового потока, испускаемого излучателем, падает на облучаемое тело.

Если принять во внимание, что P_1 – мощность (тепловой поток) излучения, а P_2 – мощность (тепловой поток), падающая на нагреваемое тело, то средние по поверхности коэффициенты облученности тел можно определить:

$$\varphi_{12} = \frac{P_2}{P_1}. \tag{1.25}$$

Коэффициенты облученности представляют собой чисто геометрические параметры, зависящие только от формы и взаимного расположения участвующих в теплообмене тел. Для простейшего случая теплообмена излучением между двумя параллельными плоскостями, имеющими размеры (F_1=F_2), значительно превосходящие расстояние между ними, φ_{12}=φ_{21}. Приведенная степень черноты для системы из двух тел, $c_{пр}$:

$$c_{пр} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} + 1}, \tag{1.26}$$

где ε_1; ε_2 – степень черноты поверхности материала излучателя и нагреваемого тела.

Если тела, между которыми происходит лучистый теплообмен, расположены одно (F_1, ε_1) внутри другого (F_2, ε_2), то формула (1.26) примет вид:

$$c_{пр} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{F_1}{F_2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)}. \tag{1.27}$$

Удельная поверхностная мощность $\Delta P_{ид}$, Вт/м^2, для этого идеализированного случая, может быть определена по формуле

$$\Delta P_{ид} = 5{,}67 \cdot c_{пр} \cdot \left(\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right). \tag{1.28}$$

В большинстве реально эксплуатируемых установок из-за сложности конфигурации поверхностей тел и непрерывного обмена энергией между ними нельзя воспользоваться достаточно простой зависимостью (1.27). Поэтому в практических расчетах реальные установки и устройства заменяют идеализированной схемой и действительную мощность находят через $\Delta P_{ид}$ по следующему выражению:

$$P = \Delta P_{ид} \cdot \alpha, \qquad (1.29)$$

где α – коэффициент эффективности излучения нагревателей, принимаемый, например, для проволочных спиралей на изолирующих трубках 0,3…0,35, трубчатых нагревателей – 0,60…0,70, ленточных зигзагообразных излучателей – 0,38…0,45.

Массообмен возникает при наличии разности концентраций рассматриваемого вещества. Способы переноса массы различны. Если масса переносится только за счет движения атомов и молекул, то такой процесс называется диффузией. При перемещении макроскопических объемов происходит конвективная массоотдача (при сублимации, сушке, химических реакциях и т.п.).

Процессы массопереноса аналогичны соответствующим процессам теплопереноса: диффузия – теплопроводности, конвективный массоперенос – конвективному теплопереносу, и описываются одинаковыми по форме записи математическими уравнениями.

1.2. Общие положения теплового расчета электронагревательных установок

Получение теплоты из электрической энергии возможно по двум принципиально разным схемам:

1) по схеме прямого преобразования, когда электрическая энергия (энергия различных форм движения заряженных частиц в электрическом поле) преобразуется в тепловую (энергию тепловых колебаний атомов и молекул веществ);

2) по схеме косвенного преобразования, когда электрическая энергия преобразуется в тепловую в специальных преобразователях – электрических нагревателях, а затем уже от них путем теплопроводности, конвекции, излучения или комбинацией этих способов передается нагреваемой среде или материалу, причем температура источника может быть ниже температуры потребителя.

В зависимости от класса нагреваемых материалов (проводники, полупроводники, диэлектрики) и способов возбуждения в них электрического тока или поля различают следующие способы электрического нагрева: сопротивлением (резистивный), электродуговой, индукционный, диэлектрический, электронный, световой (лазерный).

Для электрического нагрева различных сред и материалов используют электротермическое оборудование, включающее в себя различные электрические нагреватели и электронагревательные установки.

Электрический нагреватель (электронагреватель) – это тепловыделяющий источник, преобразующий электрическую энергию в тепловую.

Электронагревательная установка (ЭНУ) – это агрегат или оборудование, включающие электрические нагреватели, рабочую камеру и другие элементы, связанные в едином конструктивном комплексе и предназначенные для совершения единого технологического процесса.

К основным параметрам электронагревательных установок относятся тепловая мощность, напряжение питания, частота тока, КПД, коэффициент мощности ($cos\varphi$), основные геометрические размеры.

Тепловой расчёт проводят с целью определения технологических данных установок – мощности, температуры поверхности нагревательных элементов, интенсивности теплоотдачи, параметров тепловой изоляции, теплового КПД, обеспечивающих технологические требования, которые определяют по единой для всех электротермических установок методике.

При расчете теплового режима электронагревательной установки удобно пользоваться аналогией тепловой цепи с электрической (табл. 1.1).

Тепловой расчёт электронагревательных установок основывается на совместном решении уравнений теплового баланса и теплопередачи с учётом динамики нагрева.

Все процессы нагрева и охлаждения нестационарны, так как связаны с изменением теплосодержания материала и его температуры. Тепловое равновесие наступает, если поступающая тепловая энергия равна её расходу.

В общем случае тепловая энергия в электронагревательной установке полезно расходуется на нагрев или фазовое преобразование материала (например, испарение, плавление), а также нагрев вспомогательных устройств (например, упаковка, тара), которые по технологическим требованиям должны иметь температуру, равную температуре нагреваемого материала или среды.

Таблица 1.1

Аналогия параметров тепловой и электрической цепей

Тепловая цепь	Электрическая цепь
1. Разность температур Δt, °С	1. Напряжение U, В
2. Тепловой поток $Ф$, проходящий через участок тепловой цепи (например, через стенку), Вт: $$Ф = \frac{\Delta t}{R_m},$$ где Δt – температурный перепад, °С; R_m – термическое сопротивление, °С/Вт	2. Электрический ток I, А: $$I = \frac{U}{R},$$ где U – напряжение, разность потенциалов, В; R – электрическое сопротивление, Ом
3. Тепловое (термическое) сопротивление R_m, °С/Вт: $$R_m = \frac{\Delta_{ст}}{\lambda \cdot F},$$ где $\Delta_{ст}$ – толщина теплоизоляции (например, стенки), м; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м. °С); F – площадь стенки, м^2	3. Электрическое сопротивление R, Ом: $$R = \frac{\ell}{\sigma \cdot S},$$ где l – длина проводника, м; σ – удельная проводимость материала проводника, 1/(Ом·м); S – сечение проводника, м^2
4. Тепловое сопротивление многослойной стенки $R_{m\Sigma}$, °С/Вт, каждый слой которой имеет разную толщину Δ_{cmi} и изготовлен из материала с коэффициентом теплопроводности λ_i: $$R_{m\Sigma} = R_{m1} + R_{m2} + \ldots + R_{m\text{п}}$$	4. Общее сопротивление при последовательном соединении сопротивлений R_Σ, Ом: $$R_\Sigma = R_1 + R_2 + \ldots + R_{\text{п}}$$

Тепловая энергия безвозвратно расходуется или теряется, что характерно для всех электротермических установок.

Тепловая энергия в электротермическую установку поступает от электрических нагревателей, от различного технологического и электротехнического оборудования (электродвигатели, лампы накаливания и т.п.), а также от биологических объектов животного и растительного происхождения.

С учетом указанных обстоятельств, уравнение теплового баланса можно записать в виде:

$$\Sigma Q_{пос} = \Sigma Q_{рас}, \qquad (1.30)$$

где $\Sigma Q_{пос}$ – суммарные поступления тепловой энергии, Дж; $\Sigma Q_{рас}$ – суммарный расход тепловой энергии, Дж,

или

$$Q_{эн} + Q_{б} + Q_{эо} = Q_{пол} + Q_{всп} + Q_{пот}, \qquad (1.31)$$

где $Q_{эн}$, $Q_б$, $Q_{эо}$ – тепловая энергия электронагревателей, биологических объектов и работающего технологического оборудования и электрооборудования, Дж; $Q_{пол}$ – тепловая энергия, расходуемая полезно, Дж; $Q_{всп}$ – тепловая энергия, затрачиваемая на нагрев вспомогательных устройств, Дж; $Q_{пот}$ – энергия тепловых потерь, Дж.

Установленную (присоединенную) мощность электронагревательной установки $P_{уст}$, Вт, можно определить по формуле

$$P_{уст} = \frac{k_з \cdot P_{потр}}{\eta_э \cdot \eta_т}, \quad (1.32)$$

где $к_з$ – коэффициент запаса; $P_{потр}$ – потребляемая мощность, Вт; $\eta_э$ – электрический КПД установки; $\eta_т$ – тепловой (термический) КПД установки.

Коэффициент запаса ($к_з$=*1,1-1,3*) учитывает уменьшение фактической мощности вследствие снижения питающего напряжения, старения материалов нагревателей, а также возможное отклонение условий эксплуатации от расчётных значений.

Потребная мощность электронагревательной установки $P_{потр}$, Вт:

$$P_{потр} = P_{пол} + P_{всп} + P_{пот}, \quad (1.33)$$

где $P_{пол}$ – полезная тепловая мощность, Вт; $P_{всп}$ – мощность, идущая на нагрев вспомогательных устройств, Вт; $P_{пот}$ – мощность тепловых потерь, Вт.

Для электронагревательной установки периодического действия полезная теплота $Q_{пол}$, Дж:

$$Q_{пол} = V \cdot \delta \cdot c \cdot (t_2 - t_1), \quad (1.34)$$

где V – объём материала, м^3; δ – плотность материала, кг/м^3; c – удельная теплоёмкость материала, Дж/(кг·°С); t_2 – конечная температура нагрева, °С; t_1 – начальная температура материала, °С.

Все тепловые процессы связаны либо с нагревом твёрдых, жидких или газообразных тел, либо с изменением их агрегатного состояния.

Поэтому полезная мощность определяется полезным количеством теплоты, расходуемым на изменение теплосодержания материала и на фазовые превращения, например плавление, парообразование и т.п. Наиболее полное представление о последовательности протекающих процессов можно сделать рассмотрев процесс преобразования твердого тела – льда с температурой

t_1, °С, в газообразное – пар с температурой t_2, °С. В этом случае полезное количество теплоты $Q_{пол}$, Дж, определится выражением:

$$Q_{пол} = m \cdot c_1 \cdot (t_{пл} - t_1) + m \cdot a_{пл} + m \cdot c_2 \cdot (t_n - t_{пл}) + m \cdot a_n + m \cdot c_3 \cdot (t_2 - t_n), \quad (1.35)$$

где m – масса нагреваемого материала, кг; c_1, c_2, c_3 – удельные массовые теплоемкости соответственно льда, воды и пара, Дж/(кг·°С); $a_{пл}$, a_n – удельная теплота плавления и парообразования соответственно, Дж/кг; $t_{пл}$, t_n – температура плавления и парообразования льда и воды соответственно, °С.

В реальных процессах фазовые превращения могут отсутствовать.

В эксплуатируемых установках чаще всего производится только нагрев материалов и в частных случаях для конкретных установок учитывается процесс плавления, испарения и т.п.

Полезная мощность $P_{пол}$, Вт:

$$P_{пол} = \frac{Q_{пол}}{\tau} = \frac{V \cdot \delta \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{\tau}, \quad (1.36)$$

где τ – время нагрева, с.

Для электронагревательной установки непрерывного действия полезная теплота $Q_{пол}$, Дж:

$$Q_{пол} = L \cdot \delta \cdot c \cdot (t_2 - t_1), \quad (1.37)$$

где L – объёмная подача нагреваемого материала в ЭТУ, м^3/с.

Полезная мощность $P_{пол}$, Вт:

$$P_{пол} = Q_{пол}. \quad (1.38)$$

Мощность, затрачиваемую на нагрев вспомогательных устройств, находят по формулам расчёта полезной мощности, причём температуру вспомогательного оборудования принимают равной температуре нагреваемого материала.

Тепловые потери электронагревательных установок связаны с тремя способами передачи теплоты: теплопроводностью, конвекцией и излучением, причём в установках передача тепла может осуществляться одновременно двумя или всеми тремя перечисленными способами (для расчета могут использоваться формулы 1.1-1.23).

Общий КПД $\eta_{общ}$, о.е., электронагревательных установок:

$$\eta_{общ} = \eta_э \cdot \eta_т. \quad (1.39)$$

Электрический КПД $\eta_э$, о.е., зависит главным образом от способа электронагрева.

Таблица 1.2

Усредненные значения электрического КПД

Способ электрического нагрева	Электрический КПД $\eta_э$, о.е.
Методом сопротивления	≈ 1,0
Электродуговой	≈ 1,0
Индукционный	0,5-0,7
Диэлектрический ВЧ	0,4-0,5
Диэлектрический СВЧ	0,7
Электронный и лазерный	до 0,005

Термический КПД $\eta_т$, о.е., показывает, какая часть тепловой энергии, выделенной в нагревателе ЭТУ, идёт на повышение теплосодержания материала или среды.

Для практических расчётов термический КПД можно определить по формулам:

$$\eta_т = \frac{Q_{пол}}{Q_{пол} + Q_{всп} + Q_{пот}} \qquad (1.40)$$

или

$$\eta_т = \frac{P_{пол}}{P_{пол} + P_{всп} + P_{пот}}. \qquad (1.41)$$

Для основных электронагревательных установок сельскохозяйственного назначения могут быть приняты следующие значения термического КПД.

Таблица 1.3

Значения термического КПД

Электронагревательные установки	Термический КПД $\eta_т$, о.е.
Электродные водонагреватели и парогенераторы	≈ 0,8-0,97
Проточные элементные водонагреватели	≈ 0,95-0,98
Электрические нагреватели-термосы	≈ 0,85-0,95
Электрокалориферы	≈ 0,95-1,0
Электрические печи сопротивления	≈ 0,7-0,9
Электросварочные установки	≈ 0,5-0,95
Высокочастотные установки	≈ 0,6-0,9
Бытовые электроприборы	≈ 0,6-0,8

Оптимальные геометрические размеры электротермической установки определяют из условия минимальной поверхности

теплоотдачи при заданном объеме. Для установки цилиндрической формы это условие выполняется, если диаметр цилиндрической поверхности электротермической установки $D_{эту}$ равен ее высоте $H_{эту}$.

Тепловая изоляция предназначена для снижения потерь теплового потока в окружающую среду. Уменьшить потери теплоты и, следовательно, увеличить КПД электротермических установок можно, увеличив толщину изоляции или применив изоляцию с меньшей теплопроводностью.

Требования, предъявляемые к тепловой изоляции, многогранны и противоречивы: она должна быть как можно дешевле, тоньше, легче, обладать достаточной механической прочностью, малыми теплопроводностью и электрической проводимостью, выдерживать высокие температуры.

Используемые в настоящее время теплоизоляционные материалы не удовлетворяют всем этим требованиям в полной мере. Поэтому тепловую изоляцию делают многослойной. Слой, прилегающий к нагревателю, выполняют из термостойкого материала. Его назначение – снизить температуру до уровня, который может выдерживать следующий слой, имеющий меньшую теплопроводность λ.

При выборе изоляционного материала следует учитывать такие важные факторы, как температурные характеристики, теплопроводность изоляции λ, механические свойства, химическую совместимость, коррозионную стойкость, влагостойкость, безопасность для персонала, огнестойкость, токсичность при горении, стоимость.

Выбор материала каждого слоя и его толщины – есть технико-экономическая задача по определению минимума приведенных затрат.

Оптимальная толщина тепловой изоляции из условия минимума удельных приведенных затрат (если пренебречь малым термическим сопротивлением металлической стенки), м:

$$\Delta_{И} = \sqrt{\frac{\tau_{эту} \cdot (t_{вн} - t_{н}) \cdot C_{Э} \cdot \lambda_{И}}{10 \cdot C_{И} \cdot (C_{а} + E_{н})}} - \left(\frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{1}{\alpha_{н}} \right) \cdot \lambda_{И}, \qquad (1.42)$$

где $t_{вн}$ и $t_{н}$ – температура теплоносителя и воздуха в помещении где установлена электротермическая установка, °С; $\alpha_{вн}$ и $\alpha_{н}$ – коэффициент теплоотдачи теплоносителя внутренней поверхности кожуха электротерми-

ческой установки и коэффициент теплоотдачи наружной поверхности кожуха электротермической установки окружающему воздуху, Вт/(м·°С); $C_Э$ – стоимость 1 кВт·ч электрической энергии, руб./(кВт·ч); $\tau_{эку}$ – продолжительность работы установки в течении года, с; C_a – годовые отчисления на амортизацию, %; $E_н$ – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, %; $C_И$ – стоимость 1 м^3 тепловой изоляции, руб./м^3; $\lambda_И$ – теплопроводность материала тепловой изоляции, Вт/(м·°С).

Примеры решения задач

Задача 1.1. В медном калориметре массой m_1 = 100 г находится m_2 = 1 кг воды при температуре t_2 = 20°С. В воду опускают свинцовую деталь массой m_3=2 кг, имеющую температуру t_1=90°С. Удельная массовая теплоемкость меди равна c_1=380 Дж/(кг·°С); воды – c_2=4200 Дж/(кг·°С); свинца – c_3=140 Дж/(кг·°С). До какой температуры нагреется вода? Потерями теплоты в калориметре пренебречь.

Решение

Вода и калориметр находились в тепловом равновесии, поэтому они имели одинаковую температуру $t_1 = t_2$ = 20°С.

При опускании в воду с температурой 20°С свинцового тела с температурой t_3 = 90°С между водой и свинцом будет происходить теплообмен, поэтому свинец будет остывать, а вода – нагреваться. В этом же процессе участвует и калориметр, который, как и вода, будет тоже нагреваться.

Для нахождения решения воспользуемся уравнением теплового баланса, которое запишем в виде

$$Q_1 + Q_2 = Q_3$$

или

$$c_1 \cdot m_1 \cdot (t' - t_1) + c_2 \cdot m_2 \cdot (t' - t_2) = c_3 \cdot m_3 \cdot (t_3 - t').$$

Вода нагреется до температуры:

$$t' = \frac{c_1 \cdot m_1 \cdot t_1 + c_2 \cdot m_2 \cdot t_2 + c_3 \cdot m_3 \cdot t_3}{c_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot m_2 + c_3 \cdot m_3} = \frac{380 \cdot 0{,}1 \cdot 20 + 4200 \cdot 1 \cdot 20 + 140 \cdot 2 \cdot 90}{380 \cdot 0{,}1 + 4200 \cdot 1 + 140 \cdot 2} =$$

$$= 24°С.$$

Задача 1.2. Железный стержень массой m = 5 кг, нагретый до температуры t_1 = 550°С, опускается в воду. Удельная теплоемкость железа c_1 = 460 Дж/(кг·°С). Сколько теплоты ежесекундно теряет стержень, если за τ=10 мин он остывает до t_2 = 45°С?

Решение

Необходимо определить, сколько теплоты ежесекундно теряет стержень, что по сути является тепловой мощностью P, которая находится отношением количества теплоты Q ко времени τ:

$$P = \frac{Q}{\tau}.$$

Количество теплоты Q, теряемое железным стержнем при остывании, можно определить по формуле

$$Q = c \cdot m \cdot (t_1 - t_2).$$

Сопоставим две вышеприведенные формулы и получим решение задачи в общем виде:

$$P = \frac{c \cdot m \cdot (t_1 - t_2)}{\tau}.$$

Ежесекундные потери теплоты равны:

$$P = \frac{460 \cdot 5 \cdot (550 - 45)}{600} = 1936 \text{ Вт} \approx 1{,}94 \text{ кВт}.$$

Задача 1.3. В электрическом чайнике мощностью P = 800 Вт можно вскипятить V = 1,6 л воды, имеющей температуру t = 20°С, за τ = 20 мин. Удельная теплоемкость воды равна c = 4200 Дж/(кг·°С), плотность воды равна δ = 1000 кг/м^3. Найти КПД (η) нагрева воды при помощи электрического чайника.

Решение

Коэффициент полезного действия η равен отношению полезно расходуемой теплоты $Q_{пол}$ к затраченной – $Q_з$:

$$\eta = \frac{Q_{пол}}{Q_з}.$$

Полезно расходуемая теплота $Q_п$ определяется тем, что чайник нагревает воду до кипения (температура кипения $t_к$= 100°С).

$$Q_{пол} = c \cdot m \cdot (t_к - t) = c \cdot \delta \cdot V \cdot (t_к - t).$$

Затраченную теплоту $Q_з$ определим как произведение мощности чайника P на время τ:

$$Q_з = P \cdot \tau.$$

Тогда коэффициент полезного действия η равен:

$$\eta = \frac{Q_{пол}}{Q_з} = \frac{c \cdot \delta \cdot V \cdot (t_к - t)}{P \cdot \tau} = \frac{4200 \cdot 1000 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-3} \cdot (100 - 20)}{800 \cdot 1200} = 0{,}56.$$

Задача 1.4. Определить эквивалентный коэффициент теплопроводности плоской теплоизоляционной конструкции, состоящей из трех слоев: а) прокладочного, толщиной $\Delta_{ст1} = 10$ мм $= 10 \cdot 10^{-3}$ м и теплопроводностью $\lambda_1 = 0{,}28$ Вт/(м·°С); б) основного, выполненного из диатомитового кирпича – $\Delta_{ст2} = 60$ мм $= 60 \cdot 10^{-3}$ м; $\lambda_2 = 0{,}14$ Вт/(м·°С), и слоя штукатурки – $\Delta_{ст3} = 5$ мм $= 5 \cdot 10^{-3}$ м; $\lambda_3 = 1{,}16$ Вт/(м·°С).

Решение

Тепловой поток, передаваемый через тело (стенку), в соответствии с законом Фурье, определяется по формуле

$$\Phi = \lambda \cdot \frac{\Delta t \cdot F}{\Delta_{ст}} = \frac{\Delta t \cdot F}{R_т}.$$

Полное термическое сопротивление многослойной стенки равно сумме термических сопротивлений отдельных слоев:

$$R_т = R_{т1} + R_{т2} + R_{т3} + \ldots = \frac{\Delta_{ст1}}{\lambda_1} + \frac{\Delta_{ст2}}{\lambda_2} + \frac{\Delta_{ст3}}{\lambda_3} + \ldots\ldots .$$

Эквивалентный коэффициент теплопроводности плоской теплоизоляционной конструкции определим как

$$\lambda = \frac{\Delta_{ст13}}{\frac{\Delta_{ст1}}{\lambda_1} + \frac{\Delta_{ст2}}{\lambda_2} + \frac{\Delta_{ст3}}{\lambda_3}} = \frac{\Delta_{ст1} + \Delta_{ст2} + \Delta_{ст3}}{\frac{\Delta_{ст1}}{\lambda_1} + \frac{\Delta_{ст2}}{\lambda_2} + \frac{\Delta_{ст3}}{\lambda_3}} =$$

$$= \frac{(10 + 60 + 5) \cdot 10^{-3}}{\frac{10 \cdot 10^{-3}}{0{,}28} + \frac{60 \cdot 10^{-3}}{0{,}14} + \frac{5 \cdot 10^{-3}}{1{,}16}} = 0{,}16 \text{ Вт/(м·°С)}.$$

Задача 1.5. Определить наружную температуру кирпичной кладки трубчатой печи $t_{стн}$, если ее поверхность составляет $F = 140$ м^2. Тепловой поток Ф = 120 кВт, а температура огнеупорной кладки со стороны топки $t_{ствн} = 1020$°С. Кирпичная кладка состоит из двух слоев: огнеупорного толщиной $\Delta_{ст1} = 250$ мм $= 25 \cdot 10^{-3}$ м и теплопроводностью $\lambda_1 = 0{,}34$ Вт/(м·°С), а также

красного кирпича толщиной $\Delta_{ст2}$ = 250 мм = $25 \cdot 10^{-3}$ м и теплопроводностью λ_2 = 0,68 Вт/(м·°С).

Решение

Тепловой поток, передаваемый через двухслойную стенку, в соответствии с законом Фурье, определяется по формуле

$$\Phi = \frac{\Delta t}{R_m} = \frac{t_{ствн} - t_{стн}}{\frac{\Delta_{ст1}}{\lambda_1 \cdot F_1} + \frac{\Delta_{ст2}}{\lambda_2 \cdot F_2}}.$$

Отсюда наружная температура кирпичной кладки может быть найдена по формуле:

$$t_{стн} = t_{ствн} - \Phi \cdot R_m = t_{ствн} - \Phi \cdot \left(\frac{\Delta_{ст1}}{\lambda_1 \cdot F_1} + \frac{\Delta_{ст2}}{\lambda_2 \cdot F_2} \right) =$$

$$= 1020 - 120000 \cdot \left(\frac{250 \cdot 10^{-3}}{0{,}34 \cdot 140} + \frac{250 \cdot 10^{-3}}{0{,}68 \cdot 140} \right) = 74{,}4\ ^\circ\text{C}.$$

Задача 1.6. Определить лучистый теплообмен между двумя параллельными поверхностями, если их температуры соответственно равны: t_1= 1200°С и t_2 = 200°С; площадь поверхности F = 4,0 м^2. Степень черноты материала первой поверхности ε_1 = 0,8, а второй – ε_1 = 0,5. Коэффициент излучения абсолютно черного тела C_0 = 5,67 Вт/(м^2·К^4).

Решение

Определяем приведенную степень черноты двух поверхностей:

$$c_{пр} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} = \frac{1}{\frac{1}{0{,}8} + \frac{1}{0{,}5} - 1} = 0{,}444.$$

Определяем значение теплового потока для лучистого теплообмена:

$$\Phi = c_{пр} \cdot C_0 \cdot F \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] = 0{,}444 \cdot 5{,}67 \cdot 4{,}0 \cdot \left[\left(\frac{1473}{100} \right)^4 - \left(\frac{473}{100} \right)^4 \right] =$$

$$= 0{,}444 \cdot 5{,}67 \cdot 4{,}0 \cdot \left[14{,}73^4 - 4{,}73^4 \right] = 469000 \text{ Вт}.$$

Задача 1.7. Трубчатый электронагреватель (ТЭН) диаметром $D_н$ = 13 мм, с температурой поверхности T_1 = 550 К, расположен коаксиально в трубе с внутренним диаметром $d_{вн}$= 30 мм и температурой поверхности 320 К. Степень черноты поверхности ТЭНа ε_1 = 0,9, а внутренней поверхности трубы – 0,3. Средний коэффициент облученности тел (ТЭНа и трубы) φ_{12} = 0,95. Определить мощность теплового потока на 1 м длины, передаваемого от ТЭНа трубе.

Решение

Площадь поверхности 1 м ТЭНа:

$$F_1 = \pi \cdot D_н \cdot l = 3{,}14 \cdot 13 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}0 = 0{,}04\,\text{м}^2.$$

Площадь поверхности 1 м внутренней поверхности трубы:

$$F_2 = \pi \cdot d_{вн} \cdot l = 3{,}14 \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}0 = 0{,}09\,\text{м}^2.$$

Приведенная степень черноты участвующих в теплообмене тел, одно из которых (ТЭН) расположено внутри другого (труба):

$$c_{пр} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{F_1}{F_2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)} = \frac{1}{\frac{1}{0{,}9} + \frac{0{,}04}{0{,}09} \cdot \left(\frac{1}{0{,}5} - 1\right)} = 0{,}46.$$

Взаимная поверхность излучения:

$$F_{пр} = \varphi_{12} \cdot F_1 = 0{,}95 \cdot 0{,}04 = 0{,}038\,\text{м}^2.$$

Мощность теплового потока:

$$P = 5{,}67 \cdot \varepsilon_{пр} \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right] \cdot F_{пр} =$$

$$= 5{,}67 \cdot 0{,}46 \cdot \left[\left(\frac{550}{100}\right)^4 - \left(\frac{320}{100}\right)^4\right] \cdot 0{,}038 = 80{,}3\ \text{Вт}.$$

Задача 1.8. Определить коэффициент теплопередачи от газообразных нагретых продуктов к горячей воде в конвективной части теплообменника (котла), если коэффициент теплоотдачи конвекцией от газов $\alpha_{1к}$ = 28,0 Вт/(м^2·°С), коэффициент теплоотдачи излучением от газов к стенке $\alpha_{1л}$ = 7,3 Вт/(м^2·°С). Толщина стенок труб $\Delta_{ст}$= 4 мм = 4·10^{-3} м, а теплопроводность стенок $\lambda_{ст}$= 40,7 Вт/(м·°С). Стенки покрыты внутри налетом (сажей) толщиной $\Delta_с$ = 0,1 мм = 0,1·10^{-3} м с теплопроводностью $\lambda_с$ = 0,06 Вт/(м·°С), а снаружи накипью – $\Delta_н$ = 1 мм = 0,1·10^{-3} м с

теплопроводностью $\lambda_н$ = 2,3 Вт/(м·°С). Коэффициент теплоотдачи от стенки к горячей воде $\alpha_{2к}$ = 2300 Вт/(м^2·°С).

Решение

Определяем коэффициент теплоотдачи со стороны газообразных продуктов сгорания:

$$\alpha_1 = \alpha_{1к} + \alpha_{1л} = 28{,}0 + 7{,}3 = 35{,}3 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°С)}.$$

Определяем полное термическое сопротивление теплопередаче:

$$R_т = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\Delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{\Delta_с}{\lambda_с} + \frac{\Delta_н}{\lambda_н} + \frac{1}{\alpha_2} = \frac{1}{35{,}3} + \frac{4\cdot10^{-3}}{40{,}7} + \frac{0{,}1\cdot10^{-3}}{0{,}06} + \frac{1\cdot10^{-3}}{2{,}3} + \frac{1}{2300} =$$

$$= 30{,}94\cdot10^{-3} \text{ (м}^2\cdot\text{°С)/Вт}.$$

Определяем коэффициент теплопередачи:

$$к = \frac{1}{R_т} = \frac{1}{30{,}94\cdot10^{-3}} = 32{,}3 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°С)}.$$

Задача 1.9. Рассчитать тепловые потери закалочной печи для нагрева стальных стержней диаметром D = 80 мм и длиной l = 350 мм. В печь одновременно укладывается n = 6 деталей, изготовленных из стали (плотность стали – δ = 7,8 кг/дм^3; теплоемкость стали – c = 0,482 кДж/(кг·°С)). Между деталями и тепловой изоляцией рекомендуется зазор размером Δ = 110-140 мм. Продолжительность нагрева τ = 2 ч. Температура закалки $t_з$ = 870°С, наружная – $t_н$ = 20°С. Тепловая изоляция состоит из двух слоев: первый слой толщиной $\Delta_ш$ = 65 мм – из шамотовых кирпичей; второй слой – вермикулитовая засыпка толщиной $\Delta_в$ = 250 мм. Определить мощность P, необходимую для нагрева, КПД нагрева. Определить какую температуру должна иметь наружная поверхность стенки печи $t_{ст}$, а также температуру между слоями изоляции $t_{сл}$.

Решение

Масса нагреваемых стержней:

$$m = n\cdot\delta\cdot\frac{\pi\cdot D^2}{4}\cdot l = 6\cdot7{,}8\cdot\frac{3{,}14\cdot0{,}8^2}{4}\cdot3{,}5 = 82 \text{ кг}.$$

Тепловая энергия, необходимая для нагрева деталей:

$$Q_{пол} = c\cdot m\cdot(t_з - t_н) = 0{,}482\cdot82\cdot(870-20) = 33500 \text{ кДж}.$$

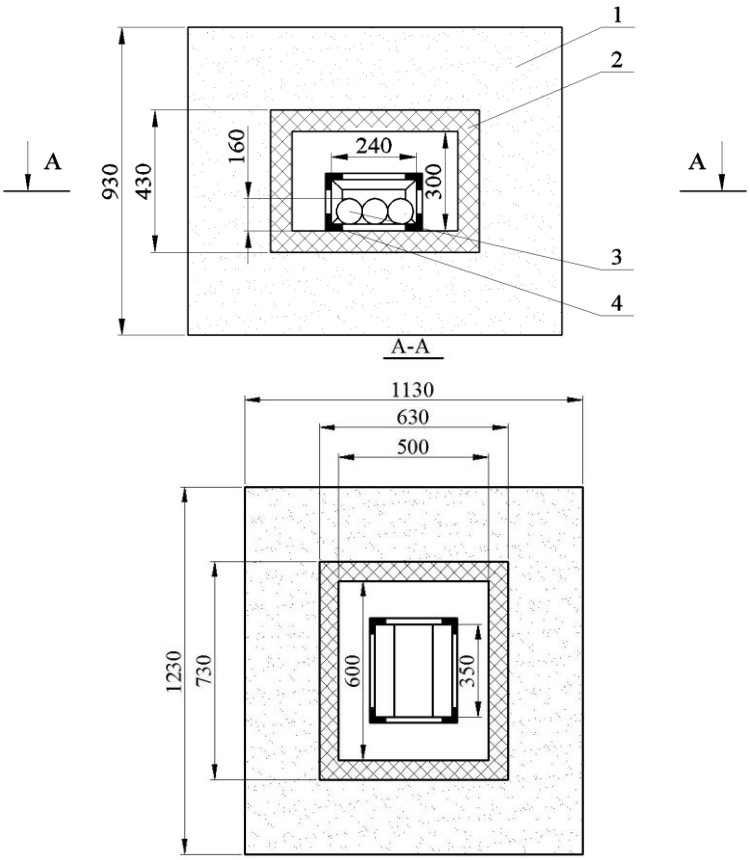


Рис. 1.2. Эскиз футеровки закалочной печи:
1 – слой теплоизоляции; 2 – слой огнеупорной изоляции; 3 – нагреваемые детали; 4 – контейнер из жаропрочной стали

Полезная мощность, идущая на нагрев:

$$P_{пол} = \frac{Q_{пол}}{\tau} = \frac{33500}{3600 \cdot 2} = 4{,}65 \text{ кВт}.$$

Площадь внутренней поверхности печи:

$$F_{вн} = 2 \cdot (0{,}3 \cdot 0{,}6 + 0{,}6 \cdot 0{,}5 + 0{,}3 \cdot 0{,}5) = 1{,}26 \text{ м}^2.$$

Площадь наружной поверхности шамотовой кладки:

$$F_{нш} = 2 \cdot (0{,}73 \cdot 0{,}43 + 0{,}73 \cdot 0{,}63 + 0{,}43 \cdot 0{,}63) = 2{,}09 \text{ м}^2.$$

Площадь наружной поверхности печи:

$$F_н = 2\cdot(0{,}93\cdot 1{,}23+0{,}93\cdot 1{,}13+1{,}23\cdot 1{,}13) = 7{,}08 \text{ м}^2.$$

Средняя площадь поверхности шамотовой кладки, при неравенстве площадей внутренней и наружной поверхностей, может быть найдена по выражению:

$$F_{ш} = \sqrt{F_{вн}\cdot F_{нш}} = \sqrt{1{,}26\cdot 2{,}09} = 1{,}62 \text{ м}^2.$$

Средняя площадь поверхности вермикулитовой засыпки:

$$F_{в} = \sqrt{F_{нш}\cdot F_{н}} = \sqrt{2{,}09\cdot 7{,}08} = 3{,}85 \text{ м}^2.$$

Тепловые потери печи, при условии пренебрежения термическим сопротивлением от внутреннего объёма печи до стенки ($1/(\alpha_{вн}\cdot F_{вн})=0$):

$$P_{пот} = \frac{t_{вн} - t_{нар}}{\frac{1}{\alpha_н F_н} + \frac{\Delta_в}{\lambda_в F_в} + \frac{\Delta_ш}{\lambda_ш F_ш}} = \frac{870-20}{\frac{1}{12\cdot 7{,}08} + \frac{0{,}25}{0{,}15\cdot 3{,}85} + \frac{0{,}065}{1{,}25\cdot 1{,}62}} = 1780 \text{ Вт}.$$

Мощность, необходимая для нагрева деталей:

$$P = P_{пол} + P_{пот} = 4{,}65 + 1{,}78 = 6{,}4 \text{ кВт}.$$

Температура между слоями тепловой изоляции:

$$t_{сл} = t_{вн} - P_{пот}\cdot\frac{\Delta_ш}{\lambda_ш\cdot F_ш} = 870 - 1780\cdot\frac{0{,}065}{1{,}25\cdot 1{,}62} = 813°\text{C}.$$

Температура наружной поверхности стенки печи:

$$t_{ст} = \frac{P_{пот}}{\alpha_н\cdot F_н} + t_н = \frac{1780}{12\cdot 7{,}08} + 20 = 41°\text{C}.$$

КПД нагрева:

$$\eta = \frac{P}{P + P_{пот}} = \frac{4{,}65}{4{,}65+1{,}78} = 0{,}723.$$

Задача 1.10. Стенка парового котла выполнена из стали толщиной $\Delta_{ст}$=10 мм = $10\cdot 10^{-3}$ м и коэффициентом теплопроводности $\lambda_с$=50 Вт/(м·°С). Температура дымовых газов $t_г$ = 1127°С, коэффициент теплоотдачи от них к стенке α_1=100 Вт/(м^2·°С). Температура кипящей воды $t_{кв}$= 220°С, коэффициент теплоотдачи от стенки к воде α_2 = 5000 Вт/(м^2·°С). В процессе эксплуатации стенка со стороны воды покрывается слоем накипи с коэффициентом теплопроводности $\lambda_н$ = 2,0 Вт/(м·°С). При какой максимальной толщине

слоя накипи допустимо использовать котел, если предельно допустимая температура для стали $t_{пр}$= 700°С.

Решение

Максимальной и в предельном случае равной допустимой температуре для стали $t_{пр}$ будет температура поверхности стального листа, обращенной к дымовым газам. Для теплоотдачи от газов к стенке справедлив закон Ньютона-Рихмана:

$$\Phi = \alpha_1 \cdot F \cdot (t_г - t_{пр}).$$

С другой стороны, процесс теплопередачи в плоской многослойной стенке может быть описан уравнением:

$$\Phi = F \cdot \frac{t_г - t_{кв}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\Delta_с}{\lambda_с} + \frac{\Delta_{max}}{\lambda_н} + \frac{1}{\alpha_2}}.$$

Два этих уравнения образуют систему с двумя неизвестными – Δ_{max} и Φ. Решая их совместно, получаем:

$$\Delta_{max} = \left[\frac{t_г - t_{кв}}{\alpha_1 \cdot (t_г - t_{пр})} - \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\Delta_{ст}}{\lambda_с} + \frac{1}{\alpha_2} \right) \right] \cdot \lambda_н = 0{,}02 \text{ м}.$$

Задача 1.11. Определить расчетную мощность и тепловой КПД электротермической установки для нагрева 200 кг воды от 15 до 90°С за 2 ч. Вода нагревается в баке из малоуглеродистой стали с внешним диаметром $d_н$ = 0,6 м, высотой h = 0,8 м, с толщиной стенок $\Delta_{ст}$= 0,002 м. Коэффициент теплопроводности стенки $\lambda_{ст}$= 50,5 Вт/(м·°С). Теплоемкость воды c = 4,19 кДж/(кг·°С), температура окружающей среды $t_о$= 20°С.

Решение

Определяем полезную мощность:

$$P_{пол} = \frac{c \cdot m \cdot (t_2 - t_1)}{\tau} = \frac{4190 \cdot 200 \cdot (90 - 15)}{2 \cdot 3600} = 8729{,}16 \text{ Вт} = 8{,}73 \text{ кВт}.$$

Внутренним контактным термическим сопротивлением $1/\alpha_1$ при переходе теплоты от воды к баку можно пренебречь ввиду его малости.

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности бака:

$$\alpha_2 = 3{,}26 \cdot \sqrt[4]{\Delta t} = 3{,}26 \cdot \sqrt[4]{(90 - 20)} = 9{,}42.$$

Внутренний диаметр бака:

$$d_{вн} = d_н - 2\Delta_{ст} = 30{,}6 - 2 \cdot 0{,}002 = 0{,}596 \text{ м}.$$

Термическое сопротивление боковой цилиндрической стенки бака на 1 м длины:

$$R_{тбокl} = \frac{1}{\pi}\left(\frac{1}{2 \cdot \lambda_{ст}} \cdot \ln\frac{d_н}{d_{вн}} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_н}\right) = \frac{1}{3{,}14}\left(\frac{1}{2 \cdot 50{,}5} \cdot \ln\frac{0{,}6}{0{,}596} + \frac{1}{9{,}42 \cdot 0{,}6}\right) =$$

$$= 0{,}056 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}.$$

Термическое сопротивление боковой поверхности бака:

$$R_{тбок} = R_{тбокl} \cdot h = 0{,}056 \cdot 0{,}8 = 0{,}045 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}.$$

Термическое сопротивление торцевой поверхности бака по выражению:

$$R_{тт} = \frac{\Delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2} = \frac{0{,}002}{50{,}5} + \frac{1}{9{,}42} = 0{,}106 \text{(м}^2\cdot\text{°C)/Вт}.$$

Площадь боковой поверхности бака:

$$F_{бок} = \pi \cdot d_н \cdot h = 3{,}14 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}8 = 1{,}51 \text{ м}^2.$$

Площадь торцевой поверхности:

$$F_т = \frac{\pi \cdot d_н^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}6^2}{4} = 0{,}28 \text{ м}^2.$$

Тепловой поток, теряемый через боковую поверхность:

$$P_{бок} = \frac{\Delta t}{R_{тбок}} \cdot F_{бок} = \frac{90 - 20}{0{,}045} \cdot 1{,}51 = 2348 \text{ Вт}.$$

Тепловой поток, теряемый через торцевую поверхность:

$$P_т = \frac{\Delta t}{R_{тт}} \cdot F_т = \frac{90 - 20}{0{,}106} \cdot 0{,}28 = 184{,}9 \text{ Вт}.$$

Общие потери:

$$P_{пот} = P_{бок} + 2P_т = 2348 + 2 \cdot 184{,}9 = 2717{,}8 \text{ Вт} = 2{,}72 \text{ кВт}.$$

Расчетная мощность:

$$P_{расч} = P_{пол} + P_{пот} = 8{,}73 + 2{,}72 = 11{,}45 \text{ кВт}.$$

Тепловой КПД:

$$\eta_т = \frac{P_{пол}}{P_{расч}} = \frac{8{,}73}{11{,}45} = 0{,}76.$$

Установленная мощность:

$$P_{уст} = к_з \cdot P_{расч} = 1{,}2 \cdot 11{,}45 = 13{,}74 \approx 14{,}0 \text{ кВт}.$$

Задача 1.12. Определить оптимальные геометрические размеры, наивыгоднейшую толщину изоляции, КПД и мощность проточного водонагревателя вместимостью $V_{эту} = 0{,}4$ м^3. Объемный расход воды через водонагреватель $L = 0{,}1$ м^3/ч, начальная температура воды $t_1 = 5$°С, конечная – $t_2 = 5$°С. Теплопроводность материала тепловой изоляции $\lambda_И = 0{,}04$ Вт/(м·°С), годовые амортизационные отчисления 12%. Стоимость теплоизоляции $C_И = 50$ руб./м^3, стоимость электрической энергии $C_Э = 0{,}01$ руб./(кВт·ч). Время работы установки в течение года $\tau = 1500$ ч. Коэффициент запаса $k_з = 1$. Температура воздуха в помещении, в котором установлен водонагреватель $t_н = 15$°С. Коэффициент теплоотдачи наружного кожуха водонагревателя $\alpha_н = 10$ Вт/(м·°С). Внутренним удельным контактным термическим сопротивлением ($1/\alpha_{вн}$) при переходе теплоты от воды к внутренней поверхности бака водонагревателя можно пренебречь ввиду его малости. Толщина металлической стенки бака водонагревателя $\Delta_{ст} = 0{,}003$ м, а теплопроводность – $\lambda_{ст} = 40$ Вт/(м·°С).

Решение

Оптимальные геометрические размеры цилиндрического тела из условия минимума боковой поверхности при $D_{эту} = H_{эту}$ определяем из выражений для объема:

$$V_{эту} = \frac{\pi \cdot D_{эту}^2}{4} \cdot H_{эту} = \frac{\pi \cdot D_{эту}^3}{4},$$

откуда

$$D_{эту} = H_{эту} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_{эту}}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 0{,}4}{3{,}14}} = 0{,}8 \text{ м}.$$

При расчете толщины тепловой изоляции учитываем следующее. Дно водонагревателя выполняется без тепловой изоляции – так как температура воды у дна $t_1 = 5$°С, т.е. здесь теплота не теряется, а наоборот поступает из воздуха помещения в нагреватель. Тепловую изоляцию боковой поверхности водонагревателя будем рассчитывать по средней температуре воды, принимая:

$$t_{вн} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{5 + 85}{2} = 45°\text{С},$$

так как за время прохождения воды от входа водонагревателя к выходу она нагреется от температуры 5°С до температуры 85°С. Толщина тепловой изоляции крышки водонагревателя должна быть максимальной, так как температура воды у крышки $t_{вн} = t_2 = 8\ 5$°С.

Оптимальная толщина тепловой изоляции боковой поверхности водонагревателя:

$$\Delta_{Ибок} = \sqrt{\frac{\tau_{эту} \cdot (t_{вн} - t_н) \cdot C_Э \cdot \lambda_И}{10 \cdot C_И \cdot (C_а + E_н)}} - \left(\frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{1}{\alpha_н}\right) \cdot \lambda_И = \sqrt{\frac{\tau_{эту} \cdot (t_{вн} - t_н) \cdot C_Э \cdot \lambda_И}{10 \cdot C_И \cdot (C_а + E_н)}} - \frac{1}{\alpha_н} \cdot \lambda_И =$$

$$= \sqrt{\frac{1500 \cdot (45-15) \cdot 0{,}01 \cdot 0{,}04}{10 \cdot 50 \cdot (12+15)}} - \frac{1}{10} \cdot 0{,}03 = 0{,}0335 \text{м}.$$

Принимаем $\Delta_{Ибок}$=0,03 м.

Оптимальная толщина тепловой изоляции крышки водонагревателя:

$$\Delta_{Ибок} = \sqrt{\frac{\tau_{эту} \cdot (t_{вн} - t_н) \cdot C_Э \cdot \lambda_И}{10 \cdot C_И \cdot (C_а + E_н)}} - \frac{1}{\alpha_н} \cdot \lambda_И = \sqrt{\frac{1500 \cdot (85-15) \cdot 0{,}01 \cdot 0{,}04}{10 \cdot 50 \cdot (12+15)}} - \frac{1}{10} \cdot 0{,}03 =$$

$$= 0{,}0528 \text{ м}.$$

Принимаем $\Delta_{Ик}$=0,05 м.

Расчетные площади дна и крышки водонагревателя:

$$F_д = F_к = \frac{\pi \cdot D_{эту}^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}8^2}{4} = 0{,}5 \text{ м}^2.$$

Тепловой поток, поступающий из воздуха помещения в водонагреватель через дно:

$$\Phi_д = \frac{(t_н - t_1)}{\frac{\Delta_{ст}}{\lambda_{ст} \cdot F_д} + \frac{1}{\alpha_н \cdot F_д}} = \frac{(15-5)}{\frac{0{,}003}{40 \cdot 0{,}5} + \frac{1}{10 \cdot 0{,}5}} = 50 \text{ Вт}.$$

Тепловой поток, теряемый водонагревателем через боковую цилиндрическую поверхность:

$$\Phi_{бок} = \frac{\pi \cdot H_{эту} \cdot (t_{вн} - t_н)}{\frac{1}{2 \cdot \lambda_И} \cdot \ell n \frac{D_{эту} + 2 \cdot \Delta_{Ибок}}{D_{эту}} + \frac{1}{\alpha_н \cdot (D_{эту} + 2 \cdot \Delta_{Ибок})}} =$$

$$= \frac{3{,}14 \cdot 0{,}8 \cdot (45-15)}{\frac{1}{2 \cdot 0{,}04} \cdot \ell n \frac{0{,}8 + 2 \cdot 0{,}03}{0{,}8} + \frac{1}{10 \cdot (0{,}8 + 2 \cdot 0{,}03)}} = 74 \text{ Вт}.$$

Тепловой поток, теряемый водонагревателем через крышку водонагревателя:

$$\Phi_к = \frac{(t_2 - t_н)}{\frac{\Delta_{Ик}}{\lambda_И \cdot F_к} + \frac{1}{\alpha_н \cdot F_к}} = \frac{(85-15)}{\frac{0{,}05}{0{,}04 \cdot 0{,}5} + \frac{1}{10 \cdot 0{,}5}} = 26 \text{Вт}.$$

Суммарные тепловые потери водонагревателя:

$$\Phi_\Sigma = \Phi_{бок} + \Phi_к - \Phi_д = 74 + 26 - 50 = 50 \text{ Вт}.$$

Полезная мощность водонагревателя:

$$P_{пол} = \frac{c \cdot L \cdot \delta \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = \frac{4{,}19 \cdot 0{,}1 \cdot 1000 \cdot (85-5)}{3600} = 9{,}3 \text{ кВт}.$$

Установленная мощность водонагревателя при коэффициенте запаса 1,0:

$$P_{уст} = P_{пол} + \Phi_\Sigma = 9300 + 50 = 9350 \text{Вт}.$$

КПД водонагревателя:

$$\eta = \frac{P_{пол}}{P_{уст}} = \frac{9300}{9350} = 0{,}99.$$

Контрольные задания

1. Для закалки стальную деталь, нагретую до температуры $t_1 = 1073$ К, массой $m_1 = 0{,}5$ кг опустили в воду массой $m_2 = 10$ кг при температуре $t_2 = 288$ К. Удельная теплоемкость стали $c_1 = 460$ Дж/(кг·°С), а удельная теплоемкость воды $c_2 = 4200$ Дж/(кг·°С). До какой температуры охладится стальная деталь?

2. В электрический чайник мощностью P=1800 Вт с двумя литрами воды при температуре $t_1 = 60$°С долили воды V_2 при температуре $t_2 = 70$°С. Нагрев осуществляется с КПД $\eta = 60\%$. Вся вода в чайнике нагревается до температуры $t_3 = 90$°С через 5 мин. Чему равен объем нагретой воды V? Теплоемкостью чайника можно пренебречь.

3. Вода нагревается на электрической плитке постоянной мощности. На что потребуется больше времени – чтобы нагреть её от 10 до 20°С или от 80 до 90°С? Приведите анализ реальной ситуации.

4. Определить полезную мощность ЭТУ для плавки олова массой m =10 кг, если олово поступает в установку при температуре $t_1 = 7$°С, а

после расплавления нагревается до температуры t_2 = 260°С. Время нагрева и расплавления τ = 110 мин. Температура плавления олова $t_{пл}$= 232°С; удельная теплоемкость твердого олова $c_т$= 0,65 кДж/(кг·°С); удельная теплоемкость жидкого олова $c_ж$= 0,57 кДж/(кг·°С); удельная теплота плавления $a_{пл}$= 207 кДж/кг.

5. Полезно затрачиваемая мощность электронагревательного устройства 10 кВт, тепловые потери равны 4,8 кВт. Найти КПД электронагревательного устройства. Как изменится КПД электронагревательного устройства после его модернизации, если в результате пересчета нагревательных элементов на большую мощность продолжительность нагрева материала удалось сократить с 2 до 1 ч.

6. Определить тепловой поток излучением от стенки поверхностью F = 4,0 м^2, если степень черноты материала, из которого она изготовлена, ε = 0,92, а температура – $t_{ст}$=1200°С. Коэффициент излучения абсолютно черного тела равен C_0 = 5,67 Вт/(м^2·К^4).

7. Материал с каким максимальным коэффициентом теплопроводности целесообразно использовать для изоляции трубопровода с наружным диаметром D = 300 мм, коэффициент теплоотдачи которого к окружающему воздуху α = 8 Вт/(м^2·°С).

8. Плоская стальная стенка технологического агрегата с λ_1 = 50 Вт/(м·°С) и толщиной d_1 = 0,02 м теплоизолирована слоем асбестового картона с λ_2 = 0,15 Вт/(м·°С) толщиной d_2 = 0,2 м и слоем стекловаты с коэффициентом теплопроводности λ_3 = 0,05 Вт/(м·°С) толщиной Δ_3 = 0,1 м. Какой толщины необходимо сделать изоляцию из пенобетона с λ_4 = 0,08 Вт/(м·°С) вместо асбеста и стекловаты, чтобы теплоизоляционные свойства стенки остались без изменений.

9. Внутренние габариты печи для закалки ремонтных тракторных деталей a×b×c = 500×500×500 мм. Толщина тепловой изоляции из огнеупорной кладки из шамотного кирпича $\Delta_ш$ = 115 мм, а из минеральной ваты – $\Delta_{мв}$ = 200 мм. Определить тепловые потери печи, если температура ее внутреннего пространства $t_{вн}$ = 950°С.

10. Рассчитать мощность печи для нагрева под закалку стальных деталей диаметром D = 100 мм и длиной l = 250 мм. В печь одновременно укладывается n = 10 деталей. Продолжительность нагрева τ = 2 ч. Температура закалки $t_з$ = 870°С. КПД печи η = 75%.

11. Варочный котел сферической формы с наружным диаметром D = 1200 мм = 1200·10^{-3} м сделан из нержавеющей стали с коэффициентом теплопроводности $\lambda_{ст}$= 18 Вт/(м·°С). Толщина стенки котла $\Delta_{ст}$= 10 мм = 10·10^{-3} м. Внутри находится жидкость с температурой $t_ж$=140°С; снаружи котел покрыт слоем асбеста с коэффициентом теплопроводности λ_a = 0,15 Вт/(м·°С) толщиной Δ_a = 60 мм = 60·10^{-3} м. В цехе температура воздуха $t_{в1}$ = 40°С. Коэффициенты теплоотдачи снаружи и

внутри котла соответственно α_2 = 18 Вт/(м^2·°С) и α_1 = 600 Вт/(м^2·°С). После включения вентиляции в цехе температура воздуха снизилась до $t_{в2}$ = 25°С, а коэффициент теплоотдачи от стенки котла к воздуху увеличился в 1,5 раза. На сколько процентов возросли потери теплоты котлом?

12. Бак водонагревателя цилиндрической формы имеет вместимость 0,4 м^3. Температура воды в баке 85°С, а окружающей среды 15°С. Толщина тепловой изоляции бака водонагревателя, изготовленная из листового асбеста, 0,04 м. Определить мощность тепловых потерь с боковой и торцевой поверхностей водонагревателя при оптимальных геометрических размерах бака.

Контрольные вопросы

1. Дайте понятие теплопроводности, конвекции и теплового излучения.
2. Проведите аналогию между тепловой и электрической цепями.
3. Как определить полезную мощность, затрачиваемую на нагрев?
4. Что такое расчетная мощность электронагревательной установки и как она определяется?
5. Что такое установленная мощность электронагревательной установки?
6. Что такое коэффициент теплоотдачи и в каких единицах он измеряется?
7. Что такое коэффициент теплопроводности материала (среды) теплоотдачи и в каких единицах он измеряется?
8. Как определить термическое сопротивление при теплопередаче теплопроводностью через однослойную стенку?
9. Дайте понятие удельной поверхностной мощности, термического сопротивления.
10. Как определить термическое сопротивление при теплопередаче конвекцией?

2. Электрический нагрев сопротивлением металлических проводников

2.1. Общие сведения из теории электропроводности проводников первого рода

Электрический нагрев сопротивлением организуется путем включения проводника (проводящей среды) в электрическую цепь и пропускания по нему электрического тока *I*. Если ток неизменен, то, при постоянном сопротивлении проводника *R*, количество теплоты *Q*, выделенное в проводнике в течение некоторого промежутка времени τ, определяется согласно закону Джоуля-Ленца:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot \tau. \quad (2.1)$$

Данный вид нагрева является наиболее простым способом преобразования электрической энергии в тепловую. Прямой электронагрев сопротивлением применяется только для электропроводящих материалов и носит название электроконтактного нагрева, а косвенный используется для нагрева проводящих и непроводящих материалов и сред.

Сопротивление проводника, имеющего неизменное по длине *l* сечение *F*, в простейшем случае определяется по формуле

$$R = \rho \cdot \frac{l}{F}, \quad (2.2)$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление материала проводника, Ом·м или Ом·мм^2/м; *l* – длина проводника, м; *F* – площадь поперечного сечения проводника, м^2.

Удельное электрическое сопротивление ρ зависит от материала проводника, содержания примесей, механической и термической обработки, температуры.

У металлов удельное электрическое сопротивление ρ, как правило, с повышением температуры *t* возрастает и для практических расчетов его можно определить по следующей формуле

$$\rho_t = \rho_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot (t - 20°C)), \quad (2.3)$$

где ρ_{20} – удельное электрическое сопротивление проводника при 20°С, Ом·м; α – температурный коэффициент сопротивления, 1/°С.

Температурный коэффициент сопротивления α имеет размерность 1/ºС и является одной из важных физических характеристик проводниковых материалов.

Активное сопротивление металлических проводников переменному току больше омического вследствие поверхностного эффекта и определяется как:

$$R_{\sim} = k_n \cdot \rho \cdot \frac{l}{F}, \tag{2.4}$$

где $k_n = \frac{R_{\sim}}{R_{=}}$ – коэффициент поверхностного эффекта.

Поверхностный эффект проявляется в убывании по экспоненте плотности тока от поверхности в глубь проводника вследствие затухания падающей на проводник электромагнитной волны. Коэффициент k_n представляет собой сложную функцию физических свойств материала, размеров проводника и частоты тока.

В приближенных расчетах коэффициент поверхностного эффекта можно определить по следующим формулам:

$$k_n = 1 + \frac{a^4}{3} \text{ при } a<1, \tag{2.5}$$

$$k_n = a + \frac{1}{4} + \frac{3}{64 \cdot a} \text{ при } a>1, \tag{2.6}$$

где a – безразмерный параметр, который, например, для цилиндрического проводника можно определить по формуле

$$a = \frac{d}{4 \cdot z_0}, \tag{2.7}$$

где d – диаметр цилиндрического проводника, м; z_0 – глубина проникновения электромагнитной волны в металл, м.

Глубина проникновения электромагнитной волны в металл находится по приближённой формуле следующего вида:

$$z_0 = 503\sqrt{\frac{\rho}{\mu_r \cdot f}}, \tag{2.8}$$

где μ_r – относительная магнитная проницаемость материала, которая зависит от напряженности магнитного поля (Н); f – частота переменного тока, Гц.

Глубина проникновения тока для немагнитных металлов также может быть определена по справочным данным (табл. П. 1).

У ферромагнитных материалов, обладающих высокой магнитной проницаемостью, глубина проникновения токов гораздо меньше, чем у немагнитных, вследствие этого у ферромагнитных материалов поверхностный эффект заметно проявляется даже на промышленной частоте. Это явление существенно усложняет расчет стальных нагревателей и установок электроконтактного нагрева стальных деталей.

Относительная магнитная проницаемость μ_r ферромагнитных материалов является функцией напряженности магнитного поля H и температуры. С возрастанием напряженности магнитного поля от нуля значение относительной магнитной проницаемости вначале также растет, а затем, достигнув критического значения, уменьшается (рис. 2.1). При больших напряженностях магнитного поля, наблюдающихся в электронагревателях, значение μ_r сравнительно невелико и мало влияет на изменение сопротивления нагревателей.

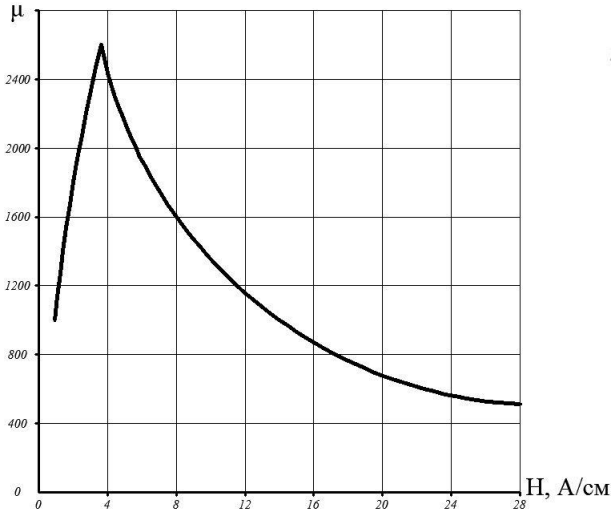


Рис. 2.1. Зависимость относительной магнитной проницаемости материала от напряженности магнитного поля $\mu_r = f(H)$ для углеродистых сталей

При повышении температуры значение относительной магнитной проницаемости μ_r снижается сравнительно медленно, но при достижении точки Кюри, так например: для чистого железа $t_к$=786°С, углеродистой стали $t_к$=721°С, сразу падает до единицы. При этом интенсивность теплового движения молекул оказывается достаточной для разрушения намагниченности тела и в результате чего ферромагнетик теряет свои магнитные свойства.

Напряженность магнитного поля, Н, А/см, определяется по формуле

$$H = \frac{I}{\pi \cdot d}\ , \qquad (2.9)$$

где I – величина тока, протекающего по проводнику, А; d – диаметр проводника, см.

2.2. Расчет установок электроконтактного нагрева

Электроконтактный нагрев связан с преобразованием электрической энергии в теплоту непосредственно в металлическом нагреваемом изделии (детали) и применяется для заготовок или деталей из чёрных и цветных металлов, термической обработки (закалка, отпуск, отжиг), а также контактной электрической сварки давлением.

Электроконтактный нагрев имеет следующие преимущества: высокую производительность при малых габаритах установки; практическое отсутствие потерь металла на окалину; увеличение срока службы оборудования для обработки металлов давлением, на износ которого серьёзно влияет наличие окалины; неограниченную температуру нагрева, ввиду отсутствия нагревателей; малые тепловые потери и возможность обойтись без футеровки; повышенную равномерность нагрева.

К недостаткам электроконтактного нагрева, в первую очередь, следует отнести: трудность в создании контактов, удовлетворительно работающих при высоких токах, а также трудность измерения и автоматического регулирования температуры.

Количество теплоты при электроконтактном нагреве, выделяемое в единицу времени, то есть мощность, Вт, можно определить по формуле

$$P = U \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}. \qquad (2.10)$$

Электроконтактный нагрев деталей простой формы (валов, осей, лент) (рис. 2.2) применяют, если необходимо их подвергнуть последующей термической и механической обработке. Деталь (заготовку) *1* включают в электрическую цепь и нагревают протекающим по ней электрическим током. Так как сопротивление детали мало, то, согласно уравнению (2.1), для нагрева необходим ток большой силы, который подводят к ней при помощи массивных медных или бронзовых зажимов (контактов) *3* и *4*, размещенных во вторичной обмотке понижающего трансформатора *2*.

Так как сопротивление металлических тел с хорошей проводимостью небольшое, для прямого их нагрева требуются значительные токи (сотни и тысячи ампер) при напряжении всего *U = 5…25 В*. Поэтому для этих целей применяют переменный ток благодаря относительной простоте получения низкого напряжения при помощи трансформаторов переменного тока.

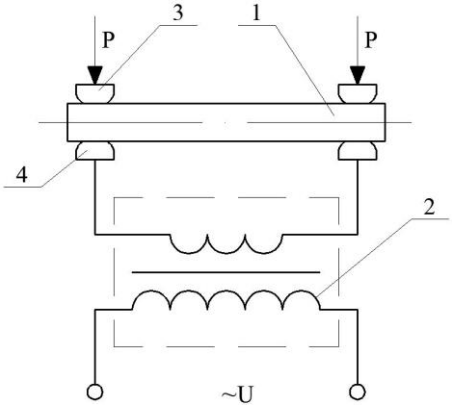


Рис. 2.2. Простейшая схема установки для электроконтактного нагрева:

1 – деталь (заготовка); 2 – понижающий трансформатор; 3, 4 – зажимы (контакты)

Трудность подвода тока к нагреваемым деталям является одним из существующих недостатков контактного способа нагрева. Зажимы (3 и 4) должны иметь хороший контакт с деталью. При практической реализации их соприкосновение происходит в нескольких точках, и сопротивление контактного перехода велико, причем часто соизмеримо с сопротивлением самой заготовки.

Элементы вторичной цепи (вторичная обмотка трансформатора, подводящие шины, сопротивления в переходных контактах) включаются в электрическую цепь последовательно с заготовкой, и в каждом из них выделяется тепло, пропорциональное сопротивлению соответствующего элемента электрической цепи. Сопротивление этих элементов следует всячески уменьшать. Для этого трансформатор располагают как можно ближе к детали (заготовке), уменьшают переходные сопротивления в контактах и т.д. Особую трудность представляет обеспечение малых значений переходных сопротивлений контактных зажимов. Вследствие больших токов во вторичной цепи даже малое сопротивление в переходных контактах приводит к значительному выделению тепла в концах заготовок и, следовательно, к неравномерному распределению температуры по ее длине. Так, например, при сопротивлении в контактах, равном 0,01 Ом, и силе тока 10^3 А в них выделяется тепло, эквивалентное 10 кВт мощности. Для снижения переходного сопротивления необходимо усилить давление в контактах. В промышленных установках для этого применяют пневматические и гидравлические приводы, а для снижения температуры в контактах их изготавливают водоохлаждаемыми.

При протекании переменного тока у металлических деталей проявляется поверхностный эффект, заключающийся в неравномерном распределении плотности тока по сечению проводника, которая экспоненциально уменьшается по направлению к его оси, т.е.:

$$j_x = j_m \cdot e^{-x/z_0}, \qquad (2.11)$$

где j_x – плотность тока в слое проводника на расстоянии x, м, от поверхности, А/мм^2; j_m – плотность тока в слое проводника на поверхности проводника, А/мм^2; z_0 – эквивалентная глубина проникновения тока, м.

При глубине проникновения тока $x = z_0$, считается, что в этом слое выделяется около 90% общего количества теплоты.

Эквивалентная глубина проникновения тока – это расстояние от поверхности проводника, на котором плотность тока в $e = 2{,}71$ раза меньше, чем на поверхности и если нагрев осуществляется на частоте f=50 Гц, то она равна:

$$z_0 = 71{,}2\sqrt{\frac{\rho}{\mu_r}}. \qquad (2.12)$$

Для каждого металла эквивалентная глубина проникновения тока z_0 имеет своё значение.

В заготовках, особенно из ферромагнитных материалов, вследствие поверхностного эффекта ток по сечению распределяется неравномерно, следовательно, неравномерно распределяется и температура. Однако к концу нагрева температура по сечению заготовки не только выравнивается, но и часто в центре становится больше, чем на поверхности. Выравнивание происходит как вследствие высокой теплопроводности металлов, так и за счет теплоотдачи излучением от наружной поверхности в связи с тем, что тепловой поток излучением пропорционален T^4.

Потребная (расчетная) активная мощность трансформатора:

$$P_{потр} = \frac{P_{пол}}{\eta} = \frac{P_{пол}}{\eta_т \cdot \eta_э \cdot \eta_{тр}}, \qquad (2.13)$$

где $\eta_т$ – термический КПД установки; $\eta_э$ – электрический КПД установки; $\eta_{тр}$ – КПД трансформатора, принимают равным $\eta_{тр}$ = 0,94.

Чтобы суммарный КПД η был максимальным по значению, необходимо, чтобы значение суммарного сопротивления вторичной обмотки понижающего трансформатора, соединительных проводов и контактов было минимальным.

Мощность, подсчитанная по формуле (2.13), является средней за период нагрева, так как удельная теплоемкость материала заготовки (детали) c и КПД η зависят от температуры и, следовательно, в процессе нагрева изменяются. При нагреве стальных деталей мощность к концу нагрева возрастает в 1,3…1,4 раза.

Скорость нагрева зависит от подводимого к изделию напряжения. Изменяя напряжение, можно создавать любую интенсивность нагрева и соответствующие температурные режимы. Однако существуют технические и технологические факторы, ограничивающие скорость нагрева, такие как трудность подвода к заготовке больших токов, неравномерное распределение температуры по сечению детали и т.д.

Продолжительность нагрева зависит от диаметра заготовок и допустимого температурного перепада между поверхностными и внутренними слоями. Для стальных заготовок цилиндрической формы продолжительность нагрева определяют по формуле

$$\tau = \frac{m_1}{\Delta P} \cdot c \cdot (t_2 - t_1), \qquad (2.14)$$

где m_1 – масса детали (заготовки) длиной в один метр, кг/м; ΔP – средняя интенсивность подвода энергии на единицу длины нагреваемой части детали (заготовки), кВт/м, эмперически определено, что ΔP = 160…250 кВт/м.

Чем больше диаметр заготовки, тем большую мощность можно к ней подводить, тем выше скорость нагрева.

Установки электроконтактного нагрева выполняют без тепловой изоляции, так как скорость нагрева у них очень высокая и тепловые потери в окружающую среду не играют существенной роли.

Электроконтактный нагрев применяют главным образом для деталей, имеющих одинаковое сечение по длине. При этом термический КПД можно определить по формуле

$$\eta_m = \frac{P_{пол} \cdot R_{\sim}}{U_2^{\,2}} = \frac{P_{пол} \cdot \left[\dfrac{\rho \cdot l}{F}\right]}{U_2^{\,2}}. \qquad (2.15)$$

Термический КПД (η_m) учитывает в основном потери на нагрев ограждающих конструкций. Его значение зависит от геометрических размеров нагреваемой заготовки: чем выше отношение длины l детали к её поперечному сечению F, тем выше η_m.

Для тел цилиндрической формы термический КПД можно приближенно определить по эмпирической формуле

$$\eta_m = \frac{1}{1 + \dfrac{\tau}{d} \cdot \left(0{,}1 + \dfrac{1}{l}\right)}, \qquad (2.16)$$

где τ – продолжительность нагрева, с; d, l – диаметр и длина нагреваемой части детали (заготовки), см.

Эмпирически определенное значение η_m находится в пределах 0,7-0,95. Большие значения соответствуют большим диаметрам заготовок и большей скорости нагрева.

Для сквозного нагрева принципиально может быть использован также и постоянный ток.

Электрический КПД учитывает потери в токоподводящих элементах и определяется по формуле

$$\eta_э = \frac{1}{1 + \dfrac{\pi \cdot d \cdot R_1}{4 \cdot \rho \cdot l}}, \qquad (2.17)$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление материала детали (заготовки), Ом·м; R_1 – электрическое сопротивление токоподводящих шин и контактов, Ом.

Расчёт и выбор нагревательных трансформаторов. В устройствах и установках электроконтактного нагрева определяют не параметры нагревательных устройств, а параметры источника питания.

Для выбора трансформатора необходимо знать полную мощность $S_{тр}$ и вторичное напряжение U_2.

Если известна масса детали m, кг; начальная $t_1=t_{нач}$ и конечная $t_2=t_{кон}$ температура, °С, а также время τ, с, в течении которого осуществляется нагрев, то полезно расходуемую мощность, Вт, можно определить по формуле

$$P_{пол} = \frac{m \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{\tau}, \qquad (2.18)$$

Общая потребная мощность $P_{потр}$ рассчитывается по формуле (2.13).

Полная мощность трансформатора, В·А:

$$S_{тр} = \frac{k_з \cdot P_{потр}}{\cos}\sqrt{ПВ} = \frac{k_з \cdot P_{пол}}{\eta \cdot \cos}\sqrt{ПВ}, \qquad (2.19)$$

где $k_з$ – коэффициент запаса; η – КПД установки; $cos\varphi$ – средний $cos\varphi$ (его значения лежат в диапазоне 0,6…0,85); $ПВ$ – относительная продолжительность включения.

Значения η и $cos\varphi$ зависят от соотношения l/d^2, где l – длина заготовки (детали), d – диаметр заготовки. Примерные значения η и $cos\varphi$ приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Значения КПД (η) и коэффициента мощности ($cos\varphi$) установки электроконтактного нагрева в зависимости от размеров заготовки (детали)

Показатели	l/d^2, см$^{-1}$										
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
η	0,5	0,62	0,69	0,73	0,76	0,78	0,8	0,815	0,82	0,825	0,825
$cos\varphi$	0,64	0,7	0,745	0,775	0,8	0,82	0,825	0,84	0,845	0,846	0,846

Так как нагревательные трансформаторы обычно работают в повторно-кратковременном режиме, поэтому продолжительность включения можно определить по формуле

$$ПВ = \frac{\tau_р}{\tau_ц} = \frac{\tau_р}{\tau_р + \tau_{паузы}}. \quad (2.20)$$

Вторичное напряжение трансформатора можно найти по соотношению, В:

$$U_2 = \sqrt{\frac{R_{\sim} \cdot P_{пол}}{\eta_т}}. \quad (2.21)$$

Сопротивление заготовки (детали) на переменном токе определяется по формуле, Ом:

$$R_{\sim} = k_п \cdot \rho \cdot \frac{l}{F}. \quad (2.22)$$

При вычислении удельного электрического сопротивления ρ для стальных заготовок следует учитывать три члена ряда, Ом·м:

$$\rho = \rho_{20} \cdot \left(1 + \alpha \cdot \theta + \alpha^2 \cdot \theta^2\right), \quad (2.23)$$

так как температурный коэффициент сопротивления α у стали велик и если не учитывать третий член в приведенном выражении, то это приводит к значительным погрешностям.

Так как за время нагрева сопротивление $R_{\sim}$ и мощность $P_{пол}$ изменяются, то в формуле (2.19) следует брать средние их значения.

Напряжение холостого хода трансформатора складывается из напряжения на заготовке U в рабочий период и потерь во вторичной цепи ΔU, которое определяют расчетом или берут по опытным данным, В:

$$U_x = U + \Delta U. \quad (2.24)$$

Мощность нагрева регулируют изменением подводимого к заготовке напряжения. Для этого первичную, а иногда и вторичную обмотки нагревательного трансформатора разделяют на секции. Необходимую мощность получают включением секции по определённой схеме.

Нагревательные трансформаторы имеют специальное конструктивное исполнение, позволяющее получать большие токи во вторичной цепи при низких напряжениях. Вторичная обмотка обычно состоит из одного или нескольких массивных витков.

В мощных установках их делают водоохлаждаемыми. Обмотки трансформаторов выполняют с теплостойкой изоляцией. По устройству трансформаторы для электроконтактной сварки и наплавки аналогичны.

2.3. Расчет установок для электроконтактной сварки

Стыковая контактная электрическая сварка. Этот вид контактной сварки применяется, например, для соединения встык проволоки и стержней арматуры, для приварки к арматурным стержням концов с резьбой используемых при натяжении армированных конструкций и т.п. Контактная сварка включает в себя два процесса: нагрев металла и сдавливание или осадку нагретого металла, обеспечивающие его деформацию. Сила сварочного тока при этом варьируется от нескольких сот до десятков тысяч ампер, а усилия осадки – от нескольких сотен до десятков тысяч ньютонов.

Различают контактную стыковую сварку сопротивлением и оплавлением. Количество тепла, выделяемое между электродами или колодками контактной машины и расходуемое на нагревание свариваемых деталей, составляет, Дж:

$$Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1) = I_{св}^2 \cdot \left(R_м + R_k\right) \cdot \tau, \qquad (2.25)$$

где c – удельная теплоемкость свариваемого металла, Дж/(кг·°С); τ – продолжительность сварки (нагрева), с; $I_{св}$ – сварочный ток, А; $R_м$, R_k – активное сопротивление металла свариваемых деталей и контакта между ними, Ом; m – масса нагреваемой части свариваемых деталей, кг.

С увеличением усилия сдавливания контактное сопротивление уменьшается. Сопротивление контакта R_k при сварке сопротивлением всегда меньше сопротивления контакта R_k при сварке оплавлением.

При стыковой сварке стальных стержней сопротивлением плотность тока должна быть в пределах от 25 до 120 А/мм^2. Соотношение между плотностью сварочного тока и продолжительностью его протекания выражается зависимостью:

$$j \cdot \sqrt{\tau} \approx 100. \qquad (2.26)$$

Плотность тока при оплавлении без предварительного прогрева в зависимости от площади сечения деталей, например стержней, колеблется в пределах от 8 до 40 А/мм^2.

Для нормального процесса непрерывного оплавления между сваривающим током $I_{св}$, А, длительностью оплавления τ, с, и диаметром детали d, мм, существует следующая зависимость:

$$I_{св} = \sqrt{d^3 \cdot (3 \cdot \tau + 1) \cdot \sqrt{\tau}}. \qquad (2.27)$$

Точечная контактная электрическая сварка. Этот вид контактной сварки применяется, например, для изготовления сеток и каркасов, которые являются основным элементом армирования железобетонных изделий в строительстве.

Режим точечной сварки назначается в зависимости от типа и толщины свариваемых деталей и характеризуется диаметром контактной поверхности электродов $d_э$, силой сварочного тока $I_{св}$, напряжением сварки $U_{св}$, усилием сжатия $p_{сж}$, продолжительностью этапов сжатия $\tau_{сж}$, сварки $\tau_{св}$ и проковки $\tau_{пр}$.

Точечную сварку малоуглеродистой стали осуществляют на «мягких» и «жестких» режимах. В массовом производстве точечная сварка чаще всего производится на «жестких» режимах, которые характеризуются большой скоростью и маленькой продолжительностью нагрева и, следовательно, более высокой производительностью.

Размеры и структура металла сварной точки, определяющие прочность сварного соединения, зависят от размеров и формы контактной поверхности электродов, усилия их сжатия. При сварке низкоуглеродистых сталей используются электроды с плоской рабочей поверхностью, а высокоуглеродистые и легированные стали, медные и алюминиевые сплавы сваривают электродами со сферической поверхностью.

От диаметра контактной поверхности электрода $d_э$ зависит плотность электрического тока, электрическое сопротивление свариваемого участка, удельное давление в процессе нагрева и диаметр сварной точки (литого ядра) d_o, мм:

$$d_o = 5{,}5 \cdot \sqrt{\Delta}, \qquad (2.28)$$

где Δ – толщина более тонкой из свариваемых деталей, мм.

Диаметр контактной поверхности электрода $d_э$, мм, выбирается в зависимости от толщины свариваемых листов и качества материалов. В среднем для стали он принимается равным, мм:

$$d_э = (1{,}5...2{,}0) \cdot \Delta + 3. \qquad (2.29)$$

Величину сварочного тока $I_{св}$ можно определить по зависимости, А:

$$I_{св} = j \cdot F_э, \qquad (2.30)$$

где j – плотность тока, А/мм^2; $F_э$ – площадь контактной поверхности электрода, мм^2.

При сварке листов различной толщины выбор параметров производится по условию достаточности нагрева и деформации более тонкого листа.

Сварка на мягких режимах сопровождается образованием широкой зоны разогрева, что облегчает деформирование металла и позволяет ограничиться не очень высокими требованиями к точности правки заготовок, как, например, при жестких режимах. Так как время нагрева повышено, степень влияния теплоты от быстро исчезающего контактного сопротивления на общий нагрев здесь несколько снижается, поэтому могут быть снижены и требования к тщательности подготовки поверхности заготовок. Электрическая и механическая мощность при сварке на мягких режимах требуется более умеренная, чем при сварке на жестких режимах.

Жесткие режимы обеспечивают более высокую производительность и меньший расход энергии. Ввиду того, что поверхность деталей под электродами при жестких режимах нагревается сравнительно меньше, электроды нагреваются слабее и, несмотря на рост давления, расход их снижается. Заметно уменьшается глубина вмятия в месте сварки и коробление изделия. В целом жесткие режимы целесообразны, прежде всего, в массовом производстве, где выигрыш в производительности и расходе энергии полностью окупит дополнительные расходы, связанные с приобретением, эксплуатацией и питанием более мощного оборудования.

Плотность тока при сварке малоуглеродистой стали на «мягком» режиме принимается в пределах 100…140 А/мм^2, а на «жестком» режиме – 200…400 А/мм^2.

С увеличением толщины листов плотность тока снижается. Когда металл свариваемых деталей обладает повышенной тепло- и электропроводностью, плотность тока должна увеличиваться. Так,

при сварке алюминия или его сплавов плотность тока иногда достигает 1000 А/мм^2 и выше. Плотность тока должна выбираться большей когда по каким-нибудь соображениям давление принимается повышенным.

Длительность включения $\tau_{св}$ (от сотых долей секунды до нескольких секунд) сварочного трансформатора зависит от толщины металла, его химического состава, усилия сжатия и определяется по зависимости, с:

$$\tau_{св} = (0{,}1...0{,}25)\cdot\Delta. \qquad (2.31)$$

Меньшее время нагрева брать не рекомендуется, так как случайные, даже незначительные погрешности в работе регулятора времени могут вызвать серьезные отклонения от требуемого нагрева и качества сварки.

Продолжительность сжатия деталей $\tau_{сж}$ до включения сварочного тока возрастает с увеличением толщины металла и находится в пределах, с:

$$\tau_{сж} = 0{,}3...0{,}8. \qquad (2.32)$$

Длительность сжатия свариваемых деталей после выключения тока (проковка) $\tau_{пр}$ оказывает влияние на качество сварной точки и лежит в интервале, с:

$$\tau_{пр} = 0{,}1...1{,}2. \qquad (2.33)$$

Для сварки металлов с высокой теплопроводностью время сварки принимается малым, при большой силе тока. Для сварки закаливающихся сталей, наоборот, во избежание образования закалочных трещин при быстром охлаждении, время нагрева часто приходится увеличивать – при соответствующем снижении тока. Детали должны оставаться сжатыми до завершения процесса застывания металла в ядре точки. Меньшие значения времени берутся для металла малой толщины.

Усилие сжатия $p_{сж}$ деталей между электродами возрастает с увеличением толщины свариваемых деталей и для малоуглеродистой стали находится по формуле, кг,

$$p_{сж} = (60...20)\cdot\Delta. \qquad (2.34)$$

Режимы точечной сварки низколегированных и углеродистых сталей отличаются от режимов сварки малоуглеродистых сталей в основном повышением усилия сжатия электродов на 15…30%.

Примеры решения задач

Задача 2.1. Определить соотношение мощностей электронагревательных устройств, нагревательным элементом которых является металлическая проволока, учтя следующие режимы работы:

1) Проволока из малоуглеродистой стали ($\rho_{20ст} = 0{,}135 \cdot 10^{-6}$ Ом·м; $\alpha_{ст} = 4500 \cdot 10^{-6} = 0{,}0045 \cdot 1/°C$) диаметром $d = 3$ мм и длиной $l = 282$ м, нагреваемая до температуры +50°С, подключена к сети:

а) переменного тока промышленной частоты $f = 50$ Гц на напряжение $U_C = 48$ В;

б) постоянного тока на напряжение $U_C = 48$ В.

2) Проволока из малоуглеродистой стали ($\rho_{20ст} = 0{,}135 \cdot 10^{-6}$ Ом·м; $\alpha_{ст} = 4500 \cdot 10^{-6} = 0{,}0045 \cdot 1/°C$) диаметром $d = 3$ мм и длиной l=212 м, нагреваемая до температуры +200°С, подключена к сети:

а) переменного тока промышленной частоты $f = 50$ Гц на напряжение $U_C = 220$ В;

б) постоянного тока на напряжение $U_C = 220$ В.

3) Нихромовая проволока ($\rho_{20н} = 1{,}1 \cdot 10^{-6}$ Ом·м) диаметром $d = 3$ мм и длиной $l = 47$ м, нагреваемая до температуры +100°С, подключена к сети:

а) переменного тока промышленной частоты $f = 50$ Гц на напряжение $U_C = 220$ В;

б) постоянного тока на напряжение $U_C = 220$ В.

Решение

Решение 1

а) Ток, протекающий по нагреваемой стальной проволоке:

$$I = \frac{U_C}{R_t},$$

где R_t – сопротивление стальной проволоки при конкретном значении температуры t, которое определяется по формуле

$$R_t = \rho \cdot \frac{l}{F} = \rho \cdot \frac{l}{\pi \cdot r^2}.$$

Удельное сопротивление стали при $t = 50$°С, равно значению:

$$\rho_1 = \rho_{20ст}\left(1 + \alpha_{ст}(t - 20)\right) = 0{,}135 \cdot 10^{-6}\left(1 + 0{,}0045(50 - 20)\right) =$$
$$= 0{,}148 \cdot 10^{-6} \text{ Ом·м}.$$

Отсюда сопротивление проводника при t_1= 50°С и $\rho_1 = 0{,}148 \cdot 10^{-4}$ Ом·см:

$$R_{t1} = 0{,}148 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{282 \cdot 10^2}{3{,}14 \cdot 0{,}15^2} = 6\,\text{Ом}.$$

Ток нагрузки и напряженность магнитного поля на поверхности стальной проволоки можно определить следующим образом:

$$I_1 = \frac{U_c}{R_{t1}} = \frac{48}{6} = 8\,\text{А};\ H_1 = \frac{I_1}{\pi \cdot d} = \frac{8}{3{,}14 \cdot 0{,}3} = 6{,}6\,\text{А/см}.$$

Данному значению напряженности магнитного поля соответствует относительная магнитная проницаемость μ_{rcm1} = 1800 (рис. 2.1).

Тогда глубина проникновения тока в металл равна:

$$z_{01} = 5030\sqrt{\frac{\rho_1}{\mu_{rcm1} \cdot f}} = 5030\sqrt{\frac{0{,}148 \cdot 10^{-4}}{1800 \cdot 50}} = 0{,}0645\text{см}.$$

Безразмерный параметр:

$$a_1 = \frac{d}{4 \cdot z_{01}} = \frac{0{,}3}{4 \cdot 0{,}0645} = 1{,}162.$$

Коэффициент поверхностного эффекта, при значении a>1, будет равен:

$$k_{n1} = a_1 + \frac{1}{4} + \frac{3}{64 \cdot a_1} = 1{,}162 + 0{,}25 + \frac{3}{64 \cdot 1{,}162} = 1{,}45.$$

Сопротивление переменному току равно:

$$R_{\sim 1} = k_{n1} \cdot R_{t1} = 1{,}45 \cdot 6 = 8{,}7\,\text{Ом}.$$

Мощность, выделяемая в проводнике на переменном токе:

$$P_{\sim 1} = \frac{U_c^2}{R_{\sim 1}} = \frac{48^2}{8{,}7} = 264\,\text{Вт}.$$

б) При нагреве на постоянном токе стального проводника, его сопротивление составит 6 Ом, поэтому потребляемая мощность будет равна:

$$P_{= 1} = \frac{U_c^2}{R_{t1}} = \frac{48^2}{6} = 384\,\text{Вт}.$$

Определим соотношение мощности нагревательной установки на постоянном и переменном токах:

$$\Delta P_1 = \frac{P_{=1} - P_{\sim 1}}{P_{=1}} \cdot 100 = \frac{384 - 264}{384} \cdot 100 \approx 31\%.$$

Таким образом, можно констатировать, что вследствие проявления поверхностного эффекта мощность на переменном токе при одинаковых условиях уменьшается на 31% по сравнению с постоянным током.

Решение 2

а) Для определения сопротивления стальной проволоки, нагреваемой до температуры 200°С, необходимо найти удельное электрическое сопротивление материала нагревателя ρ_2 при заданной температуре:

$$\rho_2 = 0{,}135 \cdot 10^{-6} \cdot \left(1 + 0{,}0045 \cdot \left(200 - 20\right)\right) = 0{,}244 \cdot 10^{-6} \text{ Ом·м};$$

$$R_{t2} = 0{,}244 \cdot 10^{-4} \frac{212 \cdot 10^2}{3{,}14 \cdot 0{,}15^2} = 7{,}33 \text{ Ом};$$

Ток нагрузки и напряженность магнитного поля на поверхности стальной проволоки определим следующим образом:

$$I_2 = \frac{U_c}{R_{t2}} = \frac{220}{7{,}33} = 30 \text{ А}; \; H_2 = \frac{I_2}{\pi \cdot d} = \frac{30}{3{,}14 \cdot 0{,}3} = 31{,}8 \text{ А/см}.$$

При данном значении напряженности магнитного поля находим, что относительная магнитная проницаемость $\mu_{rcm2} = 400$ (рис. 2.1).

Глубина проникновения электромагнитного поля в металл составит:

$$z_{02} = 5030\sqrt{\frac{0{,}244 \cdot 10^{-4}}{400 \cdot 50}} = 0{,}176 \text{см}.$$

Безразмерный параметр равен:

$$a_2 = \frac{d}{4 \cdot z_{02}} = \frac{0{,}3}{4 \cdot 0{,}176} = 0{,}426.$$

Коэффициент поверхностного эффекта, при значении a<1, равен:

$$\mathrm{k}_{n2} = 1 + \frac{0{,}426^4}{3} = 1{,}011.$$

Сопротивление переменному току и потребляемая установкой мощность равны:

$$R_{\sim 2} = k_{n2} \cdot R_{t2} = 1{,}011 \cdot R_{2t} = 1{,}011 \cdot 7{,}33 = 7{,}41 \text{Ом};$$

$$P_{\sim 2} = \frac{U_c^2}{R_{\sim 2}} = \frac{220^2}{7{,}41} = 6{,}53 \text{кВт}.$$

б) При нагреве на постоянном токе стального проводника, его сопротивление составит 7,33 Ом, поэтому потребляемая мощность будет равна:

$$P_{=2} = \frac{U_c^2}{R_{t2}} = \frac{220^2}{7{,}33} = 6{,}6 \text{ кВт}.$$

Таким образом можно констатировать, что при увеличении глубины проникновения поверхностный эффект проявляется меньше и разность мощностей уменьшается.

Решение 3

В случае применения проволоки из нихрома марки Х20Н80-Н для которого $\rho_{20н}$=1,1·10^{-6} Ом·м и $\alpha_н$=16,5·10^{-6}·1/°С, можно пренебречь увеличением сопротивления нихрома вследствие нагрева и тогда:

$$R_{tн} = 1{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{47 \cdot 10^2}{3{,}14 \cdot 0{,}15^2} = 7{,}33 \text{ Ом}.$$

Найдем значения тока и напряженности магнитного поля для рассматриваемого случая:

$$I_3 = \frac{U_c}{R_{tн}} = \frac{220}{7{,}33} = 30 \text{ А}; \; H = \frac{I_3}{\pi \cdot d_н} = \frac{30}{3{,}14 \cdot 0{,}3} = 31{,}8 \text{ А/см}.$$

Относительная магнитная проницаемость нихрома: $\mu_{rн}$=1

$$z_0 = 5030\sqrt{\frac{\rho_н}{\mu_{rн} \cdot f}} = 5030\sqrt{\frac{1{,}1 \cdot 10^{-4}}{1 \cdot 50}} = 7{,}2 \text{ см}.$$

Так как безразмерный параметр $a_н = \frac{0{,}3}{4 \cdot 7{,}2} = 0{,}0104$ и он меньше единицы, то коэффициент поверхностного эффекта равен:

$$\text{k}_{\text{пн}} = 1 + \frac{0{,}0104^4}{3} = 1 + 0{,}3 \cdot 10^{-8}.$$

Для нихрома вследствие большой глубины проникновения электромагнитной волны $R_\sim = R_=$. Поэтому мощности электро-

нагревательных установок, работающих в сетях как постоянного, так и переменного тока, будут одинаковы.

Задача 2.2. Определить коэффициент поверхностного эффекта для проволок диаметром d=3 мм из нихрома ($\rho_н$ =1,1·10^{-4} Ом·см, $\mu_{rн}$=1) и углеродистой стали ($\rho_{ст}$ =1·10^{-5} Ом·см) при частоте f=50 Гц и токах нагрузки I_1=10 А и I_2=30 А. Принять, что температура проволок в обоих случаях остается постоянной.

Решение

Напряженность магнитного поля на поверхности стальной проволоки может быть вычислена для тока нагрузки I_1:

$$H_1 = \frac{I_1}{\pi \cdot d} = \frac{10}{3{,}14 \cdot 0{,}3} = 10{,}6 \text{ А/см}.$$

Этому значению соответствует относительная магнитная проницаемость (рис. 2.1) $\mu_{rст1}$=1300.

Соответственно для тока нагрузки I_2 напряженность магнитного поля и магнитная проницаемость равны:

$$H_2 = \frac{I_2}{\pi \cdot d} = \frac{30}{3{,}14 \cdot 0{,}3} = 31{,}8 \text{ А/см}, \ \mu_{rст2}=600.$$

Глубину проникновения токов для стальной проволоки определим:

– для тока нагрузки I_1=10 А:

$$z_{01} = 5030\sqrt{\frac{\rho_{ст}}{\mu_{rст1} \cdot f}} = 5030\sqrt{\frac{1 \cdot 10^{-5}}{1300 \cdot 50}} = 0{,}062 \text{ см};$$

– для тока нагрузки I_2=30 А:

$$z_{02} = 5030\sqrt{\frac{\rho_{ст}}{\mu_{rст2} \cdot f}} = 5030\sqrt{\frac{1 \cdot 10^{-5}}{600 \cdot 50}} = 0{,}091 \text{см}.$$

Глубину проникновения токов для нихромовой проволоки определим как

$$z_{0н} = 5030\sqrt{\frac{\rho_н}{\mu_{rн} \cdot f}} = 5030\sqrt{\frac{1{,}1 \cdot 10^{-4}}{1 \cdot 50}} = 7{,}1 \text{ см}.$$

Параметр a для стальной проволоки при токах I_1 = 10 А и I_2 = 30 А определим по выражениям:

$$a_1 = \frac{d}{4 \cdot z_{01}} = \frac{0{,}3}{4 \cdot 0{,}062} = 1{,}21 \text{ и } a_2 = \frac{d}{4 \cdot z_{02}} = \frac{0{,}3}{4 \cdot 0{,}091} = 0{,}825.$$

Этот же параметр для проволоки из нихрома равен:

$$a_н = \frac{d}{4 \cdot z_{0н}} = \frac{0{,}3}{4 \cdot 7{,}1} = 0{,}0106.$$

Коэффициент поверхностного эффекта для стальной проволоки при I_1 = 10 А и $a > 1$ определим по формуле

$$k_{п1} = a + \frac{1}{4} + \frac{3}{64 \cdot a} = 1{,}21 + 0{,}25 + \frac{3}{64 \cdot 1{,}21} = 1{,}5.$$

Коэффициент поверхностного эффекта для стальной проволоки при I_2 = 30 А и $a < 1$ определим по формуле

$$\mathrm{k}_{п2} = 1 + \frac{a^4}{3} = 1 + \frac{0{,}825^4}{3} = 1{,}15.$$

Коэффициент поверхностного эффекта для проволоки из нихрома определим по формуле

$$\mathrm{k}_{пн} = 1 + \frac{a^4}{3} = 1 + \frac{0{,}0106^4}{3} = 1 + 0{,}3 \cdot 10^{-8}.$$

Как видно, поверхностный эффект при частоте тока f = 50 Гц заметно проявляется лишь у ферромагнитных проводников и тем больше, чем меньше плотность тока.

Задача 2.3. Определить параметры трансформатора для электроконтактного нагрева прутков из углеродистой стали (удельное электрическое сопротивление при 20°С $\rho_{20} = 0{,}135 \cdot 10^{-4}$ Ом·см; плотность стали – δ = 7,8 кг/дм^3; средняя удельная теплоемкость стали c = 0,48 кДж/(кг·°С)) от начальной температуры t_1 = 20°С до конечной температуры t_2 = 700°С. Длина нагреваемой части прутка l=0,4 м, диаметр d = 30 мм, продолжительность включения трансформатора ПВ = 0,25; температура окружающей среды t_o = 20°С; термический КПД равен 90%.

Решение

Масса нагреваемой части прутка:

$$m = \delta \cdot F \cdot l = \delta \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot l = 7{,}8 \cdot 10 \cdot \frac{3{,}14 \cdot \left(30 \cdot 10^{-2}\right)^2}{4} \cdot 0{,}4 = 2{,}2 \text{ кг}.$$

Продолжительность нагрева определим по формуле

$$\tau = \frac{m_1}{\Delta P} \cdot c \cdot (t_2 - t_1) = \frac{5{,}5}{200} \cdot 0{,}48 \cdot (700 - 20) = 9 \text{ с}.$$

Недостающие данные для определения продолжительности нагрева определим как

$$m_1 = m \cdot \frac{1}{l} = 2{,}2 \cdot \frac{1}{0{,}4} = 5{,}5 \text{ кг/м и } \Delta P = 200 \text{ кВт/м}$$

(Романов Д. И. Электроконтактный нагрев металлов. М., 1965).

Полезная мощность, расходуемая на нагрев:

$$P_{пол} = \frac{c \cdot m \cdot (t_2 - t_1)}{\tau} = \frac{0{,}48 \cdot 2{,}2 \cdot (700 - 20)}{9} = 79{,}6 \text{ кВт}.$$

Расчетная мощность трансформатора определяем по формуле

$$S_{тр} = \frac{k_з \cdot P_{пол}}{\eta \cdot \cos\varphi} \sqrt{ПВ} = \frac{1{,}2 \cdot 79{,}6}{0{,}82 \cdot 0{,}84} \sqrt{0{,}25} = 123 \cdot \sqrt{0{,}25} \approx 62 \text{ кВ·А}.$$

Используя данные таблицы 2.1 для l/d^2=40/3^2=4,4 определяем η=0,82; $cos\varphi$=0,84.

Сопротивление прутка определяем по формуле

$$R_{\sim} = k_n \cdot \rho \cdot \frac{l}{S}.$$

Удельное электрическое сопротивление ρ вычислим по формуле

$$\rho = \rho_{20} \cdot \left(1 + \alpha \cdot \theta + \alpha^2 \cdot \theta^2\right),$$

для среднего за время нагрева перепада температур:

$$\theta = \frac{t_2 + t_1}{2} - t_o = \frac{700 + 20}{2} - 20 = 340°\text{C},$$

$$\rho = 0{,}135 \cdot 10^{-4} \cdot \left(1 + 0{,}0055 \cdot 340 + 9{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot 340^2\right) = 0{,}528 \cdot 10^{-4} \text{ Ом·см}.$$

Для определения коэффициента поверхностного эффекта найдем значения глубины проникновения токов z_0 и параметр a. При высоких плотностях тока, наблюдающихся в нагреваемых телах из углеродистой стали, можно принять μ=100. Глубину проникновения токов найдем по формуле

$$z_0 = 5030 \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f}} = 5030 \sqrt{\frac{0{,}528 \cdot 10^{-4}}{100 \cdot 50}} = 0{,}52 \text{ см}.$$

Определим параметр a по формуле

$$a = \frac{d}{4 \cdot z_0} = \frac{30 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 0{,}52} = 1{,}37.$$

Коэффициент поверхностного эффекта равен:

$$k_n = a + \frac{1}{4} + \frac{3}{64 \cdot a} = 1{,}37 + 0{,}25 + \frac{3}{64 \cdot 1{,}37} = 1{,}65.$$

Сопротивление прутка равно:

$$R_{\sim} = k_n \cdot \rho \cdot \frac{l}{F} = 1{,}65 \cdot 0{,}528 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{40 \cdot 4}{3{,}14 \cdot 3^2} = 0{,}495 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}.$$

Напряжение на вторичной обмотке трансформатора равно:

$$U_2 = \sqrt{\frac{R_{\sim} \cdot P_{пол}}{\eta_m}} = \sqrt{\frac{0{,}495 \cdot 10^{-3} \cdot 79{,}6 \cdot 10^3}{0{,}9}} = 6{,}6 \text{ В}.$$

Рабочий ток равен:

$$I = \frac{P_{пол}}{U_2} = \frac{79{,}6 \cdot 10^3}{6{,}6} = 12100$$

Для полученного значения тока можно принять $\Delta U = 0{,}1U_2$, тогда $U_x = 7{,}3$ В.

По завершению расчета трансформатор для электроконтактного нагрева можно выбрать по каталожным данным.

Задача 2.4. Проверить детали, соединенные точечной сваркой, на отрыв по сечению в плоскости их соприкосновения с учетом расчетного диаметра точек, если известно, что площадь сечения данного соединения F =100 мм^2, допустимое механическое напряжение на растяжение $\sigma_д$ = 60 Н/мм^2, диаметр точек d = 8 мм.

Решение

Находим механическое напряжение отрыва, Н/мм^2:

$$\sigma_{отр} = \frac{P}{\pi} \cdot \frac{d^2}{4},$$

Давление сил отрыва, Н:

$$P = \sigma_д \cdot F.$$

Определим усилие на отрыв, Н/мм^2:

$$\sigma'_д = 0{,}4 \cdot \sigma_{отр}.$$

Проверяем детали на отрыв. Если $\sigma_{отр} < 0,7 \cdot \sigma'_{д}$, то отрыва деталей не будет. Если $\sigma_{отр} > 0,7 \cdot \sigma'_{д}$, то отрыв деталей будет.

Определим все необходимые для заключения компоненты:

$$\sigma_{отр} = \frac{P}{\pi} \cdot \frac{d^2}{4} = \frac{\sigma_{д} \cdot F}{\pi} \cdot \frac{d^2}{4} = \frac{60 \cdot 100}{3,14} \cdot \frac{8^2}{4} = 118,5 \text{ Н/мм}^2,$$

$$\sigma'_{д} = 0,4 \cdot \sigma_{отр} = 0,4 \cdot 118,5 = 47,4 \text{ Н/мм}^2.$$

Так как $\sigma_{отр}$=118,5 Н/мм^2, а $0,7 \cdot \sigma'_{д}$= 33,18 Н/мм^2, то имеет место отрыв деталей.

Задача 2.5. Определить силу сварочного тока при точечной контактной сварке листов углеродистой стали толщиной 0,5 мм каждый. Время сварки τ=0,2 с, количество выделяемой теплоты Q=100 Дж, а сопротивление R=54 мкОм.

Решение

Силу сварочного тока определим используя закон Джоуля-Ленца, в соответствии с которым:

$$I_{св} = \sqrt{\frac{Q}{R \cdot t}} = \sqrt{\frac{100}{0,054 \cdot 0,2}} 96 \text{ А}.$$

Контрольные задания

1. Определить коэффициент поверхностного эффекта для проволок диаметром d = 2,5 мм из нихрома ($\rho_{н}$ = 1,1·10^{-4} Ом·см, $\mu_{гн}$ = 1) и углеродистой стали ($\rho_{ст}$ = 1·10^{-5} Ом·см) при частоте f = 50 и 60 Гц и токах нагрузки I_1 = 5 А и I_2 = 15 А. Принять, что температура проволок в обоих случаях остается постоянной.

2. Определить параметры трансформатора для электроконтактного нагрева прутков из углеродистой стали (удельное электрическое сопротивление при 20°С ρ_{20} = 0,135·10^{-4} Ом·см; плотность стали δ = 7,8кг/дм^3; средняя удельная теплоемкость стали c = 0,48 кДж/(кг·°С)) от начальной температуры t_1 = 20°С до конечной температуры t_2 = 750°С. Длина нагреваемой части прутка l = 1,0 м, диаметр d = 25 мм, продолжительность включения трансформатора ПВ = 0,25; температура окружающей среды t_o = 20°С; термический КПД равен 90%.

3. Установка прямого нагрева металлических тел представляет собой нагревательный трансформатор с контактным устройством, в котором закрепляется деталь с площадью поперечного сечения F = 40·10^{-6} м^2, длиной l = 1 м, удельное сопротивление материала детали ρ_{20} = 0,11·10^{-6} Ом·м, коэффициент мощности $cos\varphi$ = 0,95, коэффициент

поверхностного эффекта $k_п$=1,2. Время нагрева детали до заданной температуры τ = 5 с. Определить потребляемую мощность нагревательного трансформатора и напряжение его вторичной обмотки. Плотность материала детали δ = 7,8 т/м^3 и удельная массовая теплоемкость c = 490 Дж/(кг·°С). Конечная температура нагрева t_2 = 1000°С и начальная t_1 = 20°С. Температурный коэффициент сопротивления α = 0,004...0,007 1/°С.

4. Как изменится величина тока в нагреваемой детали при нагреве ее от температуры t_1 = 20°С до температуры t_2 = 550°С? Известен температурный коэффициент материала детали α = 0,006 1/°С, деталь тонкостенная, то есть глубина проникновения тока в материал много больше толщины стенки z_0>>Δ, коэффициент мощности в процессе нагрева не изменяется. Внешняя характеристика нагревательного трансформатора абсолютно жесткая. Ток в момент включения I_1 = 10 А; напряжение вторичной обмотки трансформатора U_2 = 20 В; относительная магнитная проницаемость материала μ = 1.

5. К нагревательному трансформатору подключена стальная труба с внутренним диаметром $d_в$= 0,05 м и толщиной стенки Δ = 5 мм. Начальная температура трубы t_1 = 10°С, а в конце нагрева t_2 = 800°С. Температура Кюри (изменение магнитных свойств стали) для материала трубы составляет 750°С.

Температурный коэффициент сопротивления α = 0,005 1/°С. Относительная магнитная проницаемость μ=250. Длина трубы l=1 м. Известно напряжение вторичной обмотки трансформатора U_2=12,5 В. Рассчитать зависимость тока в детали I_2 от температуры детали (2-3 точки до температуры Кюри и 2-3 тачки после нее). Определить среднюю мощность нагрева и время нагрева трубы до заданной температуры.

6. Определить удельную мощность при контактной сварке изделий из конструкционной стали, если известно, что сила сварочного тока I=400 А, плотность тока в данном случае j=8 А/мм^2, напряжение во вторичной обмотке U=31,25 В.

7. В процессе сварки было выделено 14700000 Дж тепловой энергии. За промежуток времени в 1 с, сопротивление между деталями было равно 20 Ом, сопротивление детали также было 20 Ом. Определить ток, при котором осуществлялся процесс сварки.

8. Определить силу сварочного тока $I_{св}$, силу сжатия изделий $p_{сж}$, если толщина свариваемых деталей Δ = 8 мм, плотность тока j = 250 А/мм^2, площадь контактной поверхности электрода $F_э$ = 50 мм^2.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте закон Джоуля-Ленца.
2. Как изменяется удельное сопротивление металлических проводников при нагреве?
3. Что такое температурный коэффициент сопротивления и каковы единицы его измерения?
4. Поясните природу поверхностного эффекта и его влияние на величину сопротивления металлического проводника. Что такое коэффициент поверхностного эффекта?
5. Как изменяется магнитная проницаемость в зависимости от напряженности магнитного поля и температуры? Что такое точка Кюри?
6. Как определить глубину проникновения электромагнитной волны в нагреваемый материал?
7. Как определить термический КПД процесса электроконтактного нагрева для деталей, имеющих одинаковое сечение по длине?
8. Какие параметры источника питания нагревательных устройств электроконтактного нагрева определяют и с использованием каких зависимостей?
9. Какие значения плотности тока характеризуют сварку малоуглеродистой стали на «мягком» и на «жестком» режимах.
10. Как определить усилие сжатия $p_{сж}$, продолжительность этапов сжатия $t_{сж}$, сварки $t_{св}$ и проковки $t_{п}$ для процесса точечной сварки?

3. Электрический нагрев проводников второго рода. Электродный нагрев

3.1. Общие сведения из теории электропроводности проводников второго рода

Электродный нагрев используется для нагрева проводников второго рода, электропроводность которых обусловлена наличием свободных зарядов – ионов. К проводникам второго рода относятся вода и различные водные растворы, молоко, сочные корма, почва, бетон и т.п.

Если к такому проводнику при помощи электродов приложить напряжение, то в этом случае происходит прямой электрический нагрев – сам материал или среда являются элементом цепи, в которой электрическая энергия непосредственно преобразуется в тепловую. Электродный нагрев является наиболее простым и экономичным способом нагрева материалов, не требующим ни понижающих трансформаторов, ни специальных нагревателей из дорогостоящих сплавов. Электроды выполняют лишь функцию подвода напряжения к нагреваемой среде, а сами при протекании по ним тока практически не нагреваются. Электроды изготавливают из недефицитных материалов, чаще всего из металлов, но могут быть и неметаллические (графитовые, угольные). Во избежание электролиза для электродного нагрева используется только переменный ток.

Так как электропроводность подавляющего большинства сельскохозяйственного сырья, продуктов и кормов обусловлена содержанием в них воды, а сам электродный нагрев наиболее широко применяется в водогрейных и паровых котлах, то необходимо более детально рассмотреть такую характеристику воды как электропроводность.

Электропроводность дистиллированной воды σ очень низка и составляет $0{,}3 \cdot 10^{-3}$ $(\text{Ом} \cdot \text{см})^{-1}$, для сравнения у меди это значение равно $0{,}6 \cdot 10^{6}$ $(\text{Ом} \cdot \text{см})^{-1}$.

Проводимость водой электрического тока обусловлена наличием в ней растворённых солей, кислот и щелочей, молекулы

которых в воде диссоциируют на ионы. Дождевая вода содержит растворенных солей не более 50 мг/л, воды рек – 500-600 мг/л, подземные воды – от 100 мг/л до нескольких граммов на литр.

С возрастанием температуры увеличивается степень диссоциации молекул на ионы и растет их подвижность, вследствие чего проводимость воды повышается. Это ведёт к увеличению мощности в процессе нагрева, что является существенным недостатком, так как приводит к завышению сечения питающих проводов и усложняет расчёт установок.

Электропроводность воды в зависимости от температуры изменяется по следующему выражению:

$$\sigma_t = \sigma_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot (t - 20°C)), \qquad (3.1)$$

где σ_{20} – удельная электропроводность воды при 20°С, (Ом$^{-1}$·см$^{-1}$); α – температурный коэффициент сопротивления, равный 0,025...0,035 1/°С; t – температура воды, °С.

При расчётах более удобнее пользоваться удельным электрическим сопротивлением ρ_t, (Ом·см) воды, которое обратно пропорционально ее удельной электропроводности:

$$\rho_t = \frac{1}{\sigma_t} = \frac{1}{\sigma_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot (t - 20°C))} = \frac{\rho_{20}}{1 + \alpha \cdot (t - 20°C)}. \qquad (3.2)$$

На практике коэффициент α принимают равным 0,025 и после ряда преобразований выражение для нахождения удельного электрического сопротивления воды в зависимости от температуры принимает вид:

$$\rho_t = \frac{40 \cdot \rho_{20}}{20°C + t}. \qquad (3.3)$$

В диапазоне температур от 20 до 100°С удельное электрическое сопротивление воды возрастает в 3-5 раз, во столько же раз изменяется мощность, потребляемая из сети. Это один из существенных недостатков электродного нагрева, приводящий к завышению сечения питающих проводов и усложняющий расчет установок электродного нагрева.

При наступлении заметного парообразования, вследствие насыщения воды пузырьками пара, который не является проводником тока, удельное электрическое сопротивление воды возрастает и в расчётах это обстоятельство учитывается коэффициентом β, зависящим от давления и плотности тока на электродах:

$$\rho_{см} = \rho_{кип} \cdot \beta = \rho_{кип} \cdot \chi \cdot e^{jk}, \quad (3.4)$$

где $\rho_{см}$ – удельное электрическое сопротивление смеси «вода-пар», Ом·м; $\rho_{кип}$ – удельное электрическое сопротивление воды без заметного парообразования, Ом·м; χ – постоянная, равная для воды 0,925; k – коэффициент, зависящий от давления в котле, для сельскохозяйственных парообразователей k=1,5; j – плотность тока на электродах, А/мм^2.

При нормальном давлении парообразование оказывает влияние на изменение удельного электрического сопротивления при температуре выше 75°С. Для паровых котлов коэффициент β достигает значения 1,5.

При расчёте электродных нагревателей необходимо учитывать допустимую плотность тока $j_{доп}$, так как в случае превышения некоторого значения плотности тока и неправильном выборе материала электродов в результате электролиза может образоваться гремучий газ (смесь кислорода и водорода), который может вывести установку из работы и нарушить ход протекания технологического процесса.

Кроме того, допустимая напряжённость электрического поля не должна превышать пробивной прочности нагреваемой среды (воды). Методика выбора допустимой напряжённости поля и плотности тока представлена ниже.

3.2. Расчет электродных водонагревателей и парообразователей

Получение горячей воды и пара – наиболее распространенный вариант применения электрической энергии в промышленности и сельском хозяйстве, особенно в животноводстве. Не загрязняя воздуха и самого помещения продуктами и отходами сгорания, электронагрев в наибольшей степени отвечает зоотехническим и санитарно-гигиеническим требованиям. Кроме этого это еще и наиболее экономичный способ получения горячей воды и пара, не требующий затрат на транспортировку топлива, строительство и эксплуатацию котельных.

Промышленность выпускает разнообразное электротермическое оборудование для нагрева воды и получения пара, которое в условиях эксплуатации постоянно готово к действию, требует минимальных затрат на обслуживание.

Электрические водонагреватели и электрокотлы классифицируют по способу нагрева, принципу нагрева (прямой, косвенный), принципу действия (периодического, непрерывного), рабочей температуре, давлению, напряжению питания.

Электрические водонагреватели работают обычно под атмосферным давлением и предназначены для получения горячей воды с температурой до 95°С. Водогрейные электрокотлы работают под избыточным давлением (до 0,6 МПа) и позволяют получать воду с температурой выше 100°С, а паровые котлы производят насыщенный пар давлением до 0,6 МПа.

Электродные водонагреватели работают по принципу прямого нагрева: вода нагревается протекающим по ней электрическим током, подводимым при помощи электродов, которые по сравнению с трубчатыми электронагревателями (ТЭНами) более просты, дешевы и долговечны.

Водогрейные и паровые электрокотлы конструктивно выпускаются электродными. Электродный нагрев обеспечивает котлам простоту конструкции и регулирования мощности, высокую надежность и срок службы, высокие энергетические показатели. Котлы выпускаются на низкое (0,4 кВ) и высокое (6-10 кВ) напряжения с линейкой мощностей от 25 до 10 000 кВт.

Расчёт электродных нагревателей заключается в определении геометрических размеров электродов конкретной конфигурации, обеспечивающих нагрев технологически необходимого количества воды до заданной температуры за определённое время.

Методика расчёта электродных нагревателей.

1) В соответствии с исходными технологическими условиями задаются следующие параметры: масса воды, подлежащая нагреву или производительность установки, время нагрева, начальная и конечная температура воды, а также удельное сопротивление воды.

2) Вначале определяется средняя мощность для каждого типа электронагревательного устройства:

а) непроточный водонагреватель:

$$P_{ср} = \frac{c \cdot m \cdot (t_к - t_н)}{3600 \cdot \tau \cdot \eta}, \qquad (3.5)$$

где c – удельная теплоёмкость воды, с = 4,19 кДж/(кг·°С); m – масса нагреваемой воды, кг; $t_к$ и $t_н$ – конечное и начальное значение температу-

ры воды, °С; τ – время нагрева, ч; η – КПД непроточного нагревателя, η=0,92...0,95;

б) проточный водонагреватель:

$$P_{ср} = \frac{c \cdot L \cdot (t_к - t_н)}{3600 \cdot \eta}, \tag{3.6}$$

где L – производительность водонагревателя, кг/ч; η – КПД проточного водонагревателя, η=0,95...0,98;

в) парообразователь:

$$P_{ср} = \frac{m \cdot [c \cdot (t_к - t_н) + a]}{3600 \cdot \tau \cdot \eta} = \frac{L \cdot [c \cdot (t_к - t_н) + a]}{3600 \cdot \eta}, \tag{3.7}$$

где a – скрытая теплота фазового преобразования воды (количество теплоты, необходимое для испарения 1 кг воды), a=2255 кДж/кг.

3) Для всех типов водонагревателей определяется удельное электрическое сопротивление воды при конечной температуре нагрева:

$$\rho_к = \frac{40 \cdot \rho_{20}}{t_к + 20°C}\ , \tag{3.8}$$

где ρ_{20} – удельное электрическое сопротивление воды при 20°С, Ом·см.

4) В зависимости от типа электронагревательного устройства далее выполняются следующие расчёты.

а) Непроточный водонагреватель. Так как с ростом температуры уменьшается удельное электрическое сопротивление воды, то необходимо определить мощность в конце нагрева $P_к$. Мощность в начале и в конце нагрева $P_н$ и $P_к$ соотносятся обратно удельному электрическому сопротивлению воды $\rho_к$ и $\rho_н$:

$$\frac{P_к}{P_н} = \frac{\rho_н}{\rho_к}, \tag{3.9}$$

откуда

$$P_к = \frac{\rho_н \cdot P_н}{\rho_к}. \tag{3.10}$$

Так как

$$\rho_к = \rho_н \frac{t_н + 20°C}{t_к + 20°C}, \tag{3.11}$$

то

$$P_к = \frac{P_н}{\frac{t_н + 20°C}{t_к + 20°C}}. \quad (3.12)$$

Поскольку

$$P_{ср} = \frac{P_к + P_н}{2}, \quad (3.13)$$

то

$$P_н = 2P_{ср} - P_к. \quad (3.14)$$

Отсюда получим формулу для определения $P_к$ и $P_н$:

$$P_к = \frac{2P_{ср}}{1 + \frac{t_н + 20^\circ C}{t_к + 20^\circ C}}, \quad (3.15)$$

аналогично

$$P_н = \frac{2P_{ср}}{1 + \frac{t_к + 20^\circ C}{t_н + 20^\circ C}}. \quad (3.16)$$

б) Проточный водонагреватель. В связи с тем, что в разных зонах электрического поля вода имеет различные значения температуры, а следовательно, и удельного электрического сопротивления, то необходимо определить среднее удельное электрическое сопротивление воды:

$$\rho_{ср} = \frac{\int_{t_н}^{t_к} \frac{40 \cdot \rho_{20}}{t + 20} dt}{t_к - t_н} = \frac{40 \cdot \rho_{20}}{t_к - t_н} \ell n \frac{20 + t_к}{20 + t_н}. \quad (3.17)$$

в) Парообразователь. Вследствие насыщения кипящей воды пузырьками пара удельное электрическое сопротивление воды увеличивается поэтому с учётом коэффициента β определяется удельное электрическое сопротивление пароводяной смеси $\rho_{см}$:

$$\rho_{см} = \rho_{кип} \cdot \beta = \rho_{кип} \cdot 0{,}925 e^{jk}. \quad (3.18)$$

5) Для всех типов нагревателей в зависимости от значения удельного электрического сопротивления $\rho_к$ определяется минимально допустимое расстояние между электродами l_{min}:

$$l_{\min} = \frac{U_c}{E_{доп}}, \tag{3.19}$$

где U_c – напряжение сети между электродами, которое определяется в зависимости от схемы расположения электродов (эквивалентной схемы замещения), В; $E_{доп}$ – допустимое значение напряжённости электрического поля, выбирается в зависимости от значения $\rho_к$, например, по таблице 3.1, В/см.

Таблица 3.1

Зависимость допустимой напряжённости электрического поля и плотности тока от удельного сопротивления воды

Показатели	Удельное сопротивление воды, Ом·см							
	200	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000
Допустимая напряжённость электрического поля, В/см	400	500	610	820	950	1030	1120	1150
Допустимая плотность тока, А/см^2	0,5	0,49	0,47	0,40	0,34	0,29	0,25	0,22

Фактическое расстояние между электродами должно быть $l \geq l_{\min}$.

Часто при расчетах принимают, что при сетевом напряжении U = 380 В – $l = 3 \cdot l_{\min}$, а при U = 10 кВ – $l \approx l_{\min}$.

6) Зная фазное сопротивление $R_ф$, определяется расчётная площадь электродов (электрического поля) F с учетом максимальной мощности P_{max} и следующего выражения:

$$R_ф = \rho \cdot \frac{l}{F} \tag{3.20}$$

и

$$P_{\max} = 3 \cdot U_ф \cdot I_ф = \frac{3 \cdot U_Ф^2}{R_ф}, \tag{3.21}$$

откуда

$$F = \frac{P_{\max} \cdot \rho \cdot l}{3 \cdot U_ф^2}, \tag{3.22}$$

Значения максимальной мощности P_{max} и удельного электрического сопротивления ρ для расчета по формуле (3.22) следует принимать:

– для непроточных водонагревателей:

$$P_{max}=P_к;\ \rho=\rho_к; \tag{3.23}$$

– для проточных водонагревателей:

$$P_{max}=P_{ср};\ \rho=\rho_{ср}; \tag{3.24}$$

– для парообразователей:

$$P_{max}=P_{ср};\ \rho=\rho_{см}. \tag{3.25}$$

7) В завершении расчетов выполняют проверку на допустимую плотность тока по условию

$$j_{расч}=\frac{I_ф}{F}\le j_{доп}. \tag{3.25}$$

Если данное условие не выполняется, то необходимо увеличить межэлектродное расстояние *l*.

Размеры электродов определяются по рассчитанной площади электрического поля *F*, с учётом схемы расположения электродов.

Регулирование мощности в электродных водонагревателях и котлах осуществляется, как правило, изменением площади электрического поля путем частичного или полного экранирования электродов, с помощью экранирующих цилиндров, пластин, дуг различной формы.

Примеры решения задач

Задача 3.1. В батарею водяного отопления вода поступает при t_1 = 80°С по трубе площадью поперечного сечения F = 500 мм^2 со скоростью υ = 1,2 см/с, а выходит из батареи, имея температуру t_2 = 25°С. Какое количество теплоты получает отапливаемое помещение за сутки (время τ)?

Решение

Если вода поступает в батарею при температуре t_1, а выходит из батареи при температуре t_2, то очевидно, что искомое количество теплоты можно найти по формуле

$$Q=c\cdot m\cdot(t_1-t_2),$$

где c – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·°С), c=4200 Дж/(кг·°С); m – масса воды, которая проходит через батарею за сутки, то есть за время τ, кг.

Массу воды m, которая проходит через батарею за сутки, можно определить по выражению

$$m = \delta \cdot V,$$

где δ – плотность воды, кг/м^3, δ = 1000 кг/м^3; V – объем воды через батарею, м^3.

Объем V равен объему трубы, который заняла бы вода при передвижении в ней со скоростью υ:

$$V = F \cdot l = F \cdot \upsilon \cdot l,$$

где l – расстояние пройденное водой в трубе за время τ, м.

С учётом вышенаписанных выражений, формула для расчета искомого количества теплоты примет следующий вид:

$$Q = c \cdot \delta \cdot \upsilon \cdot \tau \cdot (t_1 - t_2).$$

Количество теплоты, получаемое отапливаемым помещением за сутки, равно:

$$Q = 4200 \cdot 1000 \cdot 500 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}012 \cdot 86400 \cdot (80 - 25) =$$
$$= 119{,}75 \cdot 10^6 \text{ Дж} \approx 120 \text{ МДж}.$$

Задача 3.2. Рассчитайте для нужд животноводческой фермы непроточный электродный водонагреватель емкостью 400 л, используемый для нагрева воды в течении четырех часов от $t_н$ = 5°С до $t_к$ = 95°С, который подключен к трехфазной сети с напряжением 380 В. Удельное сопротивление воды ρ_{20} = 2000 Ом·см. Электродное устройство состоит из трех электродов, выполненных в виде пластин, изогнутых под углом 120° (рис. 3.1, 3.2), *КПД* равен 0,94.

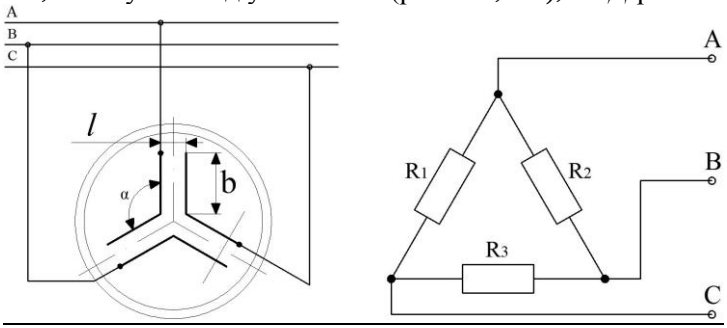


Рис. 3.1. Схема расположения электродов (а) и схема их замещения (б)

Решение

Средняя мощность нагрева равна:

$$P_{ср} = \frac{c \cdot m \cdot (t_к - t_н)}{\eta \cdot \tau \cdot 3600} = \frac{4{,}19 \cdot 400 \cdot (95-5)}{0{,}94 \cdot 4 \cdot 3600} = 11{,}1 \text{ кВт}.$$

Мощности в конце и начале нагрева определяем по формулам:

$$P_к = \frac{2 \cdot P_{ср}}{1 + \left(\frac{20°C + t_н}{20°C + t_к} \right)} = \frac{2 \cdot 11{,}1}{1 + \frac{20+5}{20+95}} = 18{,}2 \text{ кВт};$$

$$P_н = \frac{2 \cdot P_{ср}}{1 + \left(\frac{20°C + t_к}{20°C + t_н} \right)} = \frac{22{,}3}{1 + \frac{20+95}{20+5}} = 5{,}06 \text{ кВт}.$$

Удельное электрическое сопротивление воды в конце нагрева равно:

$$\rho_к = \frac{40 \cdot \rho_{20}}{t_k + 20°C} = \frac{40 \cdot 2000}{95 + 20} = 695 \text{Ом·м}.$$

По таблице 3.1 для значения $\rho_к = 695$ Ом·м выбираем допустимую напряженность электрического поля $E_{доп} = 530$ В/см.

Расстояние между электродами будет равно:

$$l_{\min} = \frac{U}{E_{доп}} = \frac{380}{530} = 0{,}72 \text{ см}.$$

Для удобства практической реализации расстояние l принимаем равным 1 см.

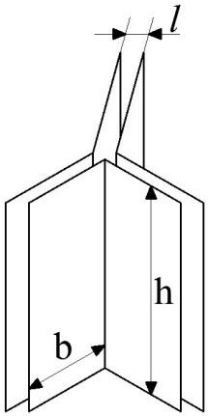


Рис. 3.2. Форма электродов

Площадь электродов определяем согласно рисунку 3.2:

$$F = \frac{P_{\max} \cdot \rho_к \cdot l}{3 \cdot U_Ф^2} = \frac{18{,}2 \cdot 10^3 \cdot 695 \cdot 1}{3 \cdot 380^2} = 29 \text{ см}^2.$$

Выполняем проверку по допустимой плотности тока. Рабочий фазный ток равен:

$$I_Ф = \frac{P_k}{3 \cdot U_Ф} = \frac{18200}{3 \cdot 380} = 15{,}96 \text{ А}.$$

Плотность рабочего тока: j = 15,96/29 = 0,56 А/см^2, что слишком много, так как при $\rho_к$= 695 Ом·см значение допустимой плотности тока равно $j_{доп}$= 0,48 А/см^2 (табл. 3.1), поэтому увеличим расстояние между электродами. Примем, как рекомендуется для такого рода расчетов, что $l = 3 \cdot l_{\min} = 3 \cdot 0{,}72 = 2{,}16 \approx 2$ см. Тогда площадь электродов будет равна: F=58 см^2, а фактическая плотность тока – j=15,96/58=0,275 А/см^2, что допустимо.

Определяем геометрические размеры электродов. Принимаем $h = 2b$, тогда $\mathrm{F} = \mathrm{h} \cdot \mathrm{b} = 2\mathrm{b}^2$, откуда $b = \sqrt{\frac{58}{2}} = 5{,}38$ см. Принимаем значение b равным *5,5* см, поэтому h=*11* см.

Задача 3.3. Рассчитать электродную систему и определить геометрические размеры электродов (рис. 3.1) проточного водонагревателя производительностью L = 120 л/ч для нагрева воды на технологические нужды.

Температура на входе в электроводонагреватель t_1 = 5°С, а на выходе из него t_2 = 80°С. Удельное электрическое сопротивление воды при 20°С равно ρ_{20} = 2000 Ом·см. Водонагреватель подключается к трехфазной сети переменного тока с линейным напряжением $U_л$ = 380В, *КПД* = 0,98.

Решение

Средняя мощность нагрева равна:

$$P_{ср} = \frac{c \cdot L \cdot (t_2 - t_1)}{3600 \cdot \eta} = \frac{4{,}19 \cdot 120 \cdot (80 - 5)}{3600 \cdot 0{,}98} = 10{,}47 \text{ кВт}.$$

Среднее удельное электрическое сопротивление и его значение на выходе воды с электродов определяем по формулам:

$$\rho_{ср} = \frac{40 \cdot \rho_{20}}{t_2 - t_1} \cdot \ln \frac{20°C + t_2}{20°C + t_1} = \frac{40 \cdot 2000}{75} \ln \frac{20 + 80}{20 + 5} = 1610 \text{Ом·см},$$

$$\rho_к = \frac{40 \cdot 2000}{20+80} = 800 \text{ Ом·см}.$$

По значению $\rho_к$ определяем допустимую напряженность электрического поля (табл. 3.1), она равна $E_{доп}$= 555 В/см.

Минимально допустимое расстояние между электродами равно:

$$l_{\min} = \frac{U}{\text{E}_{\text{доп}}} = \frac{380}{555} = 0{,}68 \text{см}.$$

Площадь электродов будет равна:

$$F = \frac{P_{ср} \cdot \rho_{ср} \cdot l}{3 \cdot U_л^2} = \frac{10{,}47 \cdot 10^3 \cdot 1610 \cdot 0{,}68}{3 \cdot 380^2} = 26{,}46 \text{ см}^2.$$

Проводим проверку на допустимую плотность тока. Фактическая плотность тока равна:

$$j_{факт} = \frac{P_{ср}}{3 \cdot U_л \cdot F} = \frac{10{,}47 \cdot 10^3}{3 \cdot 380 \cdot 26{,}46} = 0{,}347 \text{ А/см}^2.$$

Полученное значение фактической плотности тока меньше допустимого, что позволяет рассчитать геометрические размеры электродов.

Определяем геометрические размеры электродов:

$$h=2b;\ F = h \cdot b = b^2.$$

Откуда $b = \sqrt{\frac{32{,}5}{2}} = 3{,}63 \text{см}$, принимаем значение $b=3{,}5$ см, тогда $h=7$см.

Делаем проверку по допустимой плотности тока. Определяем расчетную площадь электродов: $F = h \cdot b$ = 24,5 см^2 и находим фактическое значение плотности тока:

$$j_{факт} = \frac{P_{ср}}{3 \cdot U_л \cdot F} = \frac{10{,}47 \cdot 10^3}{3 \cdot 380 \cdot 24{,}5} = 0{,}375 \text{А/см}^2,$$

которое меньше допустимого значения ($j_{доп}$=0,48 А/см^2). Расчет выполнен верно.

Задача 3.4. Рассчитать электродную систему проточного трехфазного водонагревателя, который должен быть установлен в системе обогрева помещения и развивать мощность P = 25 кВт. Температура на входе в электроводонагреватель t_1 = 70°С, а на выходе из него – t_2 = 95°С. Удельное электрическое сопротивление

воды при 20°С равно ρ_{20} = 30 Ом·м. Водонагреватель подключается к трехфазной сети переменного тока с напряжением 380 В. Система электродов – плоская пластинчатая (табл. П. 7, схема 5), ширина пластин b = 20 см, *КПД* = 0,98. Определить межэлектродное расстояние l и высоту пластин h, фактическую напряженность электрического поля между электродами $E_{факт}$ и фактическую плотность тока на электродах $j_{факт}$.

Решение

Так как мощность водонагревателя больше 10 кВт, то водонагреватель должен быть трехфазным. Мощность одной фазы:

$$P_{ф} = \frac{U_{3ф}}{3} = \frac{25}{3} = 8{,}33\,\text{кВт}.$$

Для указанной системы плоских пластинчатых электродов напряжение между электродами в одной фазе равно: $U_{ф} = U = 380$ В.

Необходимое электрическое сопротивление воды в одной фазе водонагревателя равно:

$$R = \frac{U_{ф}^2}{P_{ф}} = \frac{380^2}{8330} = 17{,}3\,\text{Ом}.$$

Среднее (по высоте электродов) удельное электрическое сопротивление воды в водонагревателе:

$$\rho_{ср} = \frac{40 \cdot \rho_{20}}{20°C + t_{ср}} = \frac{40 \cdot \rho_{20}}{20°C + \frac{t_1 + t_2}{2}} = \frac{40 \cdot 30}{20 + 82{,}5} = 11{,}5\ \text{Ом·м}.$$

Удельное электрическое сопротивление воды на выходе из водонагревателя:

$$\rho_{t_2} = \frac{40 \cdot \rho_{20}}{20°C + t_2} = \frac{40 \cdot 30}{20 + 95} = 10{,}4\ \text{Ом·м}.$$

По значению ρ_{t2} = 10,4 Ом·м определяем допустимую напряженность электрического поля (табл. 3.1), она равна $E_{доп} = 51 \cdot 10^3$ В/м.

Минимальное допустимое расстояние между электродами:

$$l_{\min} = \frac{U_{ф}}{\text{Е}_{\text{доп}}} = \frac{380}{51000} = 0{,}00745\text{м}.$$

Примем, как рекомендуется для такого рода расчетов, что фактическое расстояние равно:

$$l = 3 \cdot l_{\min} = 3 \cdot 0{,}00745 = 0{,}0224 м \approx 2{,}24 \text{ см}.$$

Коэффициент геометрической формы электродов:

$$k_{эг} = \frac{l}{b} = \frac{0{,}0224}{0{,}2} = 0{,}112.$$

Определяем высоту электродов:

$$h = \frac{\rho_{ср} \cdot k_{эг}}{R} = \frac{11{,}7 \cdot 0{,}112}{17{,}3} = 0{,}0757 \text{м} = 7{,}5 \text{ см}.$$

Фактическая напряженность электрического поля в межэлектродных промежутках равна:

$$E_{факт} = \frac{U_ф}{l} = \frac{380}{0{,}0224} = 16964 \text{В/м},$$

то есть

$$E_{факт} = 16964 \text{ В/м} < E_{доп} = 51000 \text{ В/м}.$$

Наибольшая фактическая плотность тока у поверхности электродов:

$$j_{факт} = \frac{E_{факт}}{\rho_{t_2}} = \frac{16964}{10{,}4} = 1631 \text{А/м}^2 = 0{,}163 \cdot 10^4 \text{ А/м}^2.$$

Выполняется и второе условие:

$$j_{факт} = 0{,}163 \cdot 10^4 \text{ А/м}^2 < j_{доп} = 0{,}5 \cdot 10^4 \text{ А/м}^2.$$

Поэтому расчет электродной системы можно считать законченным.

Задача 3.5. Рассчитать проточный трехфазный водонагреватель, который должен удовлетворить потребителей в горячей воде. Потребная производительность $L = 0{,}5$ м^3/ч при температуре $t_2 = 80$°С. Температура поступающей из водопровода воды – $t_1 = 10$°С. Удельное электрическое сопротивление воды при 20°С равно $\rho_{20} = 2000$ Ом·см. Водонагреватель подключается к трехфазной сети переменного тока с напряжением 380 В. Система электродов представляет собой систему со стержневыми электродами (табл. П. 7, схема 2). Корпус цилиндрический, изготовленный из трубы диаметром $d_к = 2r_к = 120$ мм. Радиус стержневых электродов принимаем из условия $r_э = 0{,}21r_к \approx 12$ мм. Стержни располагаются в вершинах равностороннего треугольника на расстоянии от оси цилиндра $l = 30$ мм (из условия $l = 0{,}51r_к$), $КПД = 97\%$.

Решение

Потребная мощность водонагревателя:

$$P = \frac{c \cdot L \cdot (t_2 - t_1)}{3600 \cdot \eta} = \frac{4{,}19 \cdot 0{,}5 \cdot 10^3 \cdot (80-10)}{3600 \cdot 0{,}97} = 42\,\text{кВт}.$$

Геометрический коэффициент электродной системы:

$$k_{эг} = \frac{1}{4\pi} \cdot \ln\left[\frac{3r^2 \cdot \left(r_к^2 - r^2\right)^3}{r_э^2 \cdot \left(r_k^6 - r^6\right)}\right] = \frac{1}{4 \cdot 3{,}14} \cdot \ln\left[\frac{3 \cdot 3^2 \cdot \left(6^2 - 3^2\right)^3}{1{,}2^2 \cdot \left(6^6 - 3^6\right)}\right] = 0{,}166.$$

Длина (высота) активной части стержней-электродов определяется по формуле

$$h = \frac{40 \cdot L_1 \cdot c \cdot k_{эг} \cdot \rho_{20}}{U^2 \cdot \eta_m} \cdot \ln\left[\frac{20°C + t_2}{20°C + t_1}\right] =$$

$$= \frac{40 \cdot 0{,}046 \cdot 4190 \cdot 0{,}166 \cdot 2000}{380^2 \cdot 0{,}97} \cdot \ln\left[\frac{20+80}{20+10}\right] = 22{,}2\,\text{см},$$

где $L_1 = \frac{L}{3 \cdot 3600} = \frac{0{,}5 \cdot 10^3}{3 \cdot 3600} = 0{,}046\,\text{кг/с}$ – производительность водонагревателя на одну фазу.

Принимаем высоту активной части стержней-электродов h = 23 см.

Проверим параметры электродной системы по допустимой плотности тока:

$$j_{\max} = \frac{k_н \cdot U}{2\pi \cdot r_э \cdot k_{эг} \cdot \rho_t} = \frac{k_н \cdot U}{2\pi \cdot r_э \cdot k_{эг} \cdot \rho_{20} \cdot \frac{40}{20°C + t_2}} =$$

$$= \frac{1{,}2 \cdot 380}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}166 \cdot 2000 \cdot \frac{40}{20 + t_2}} = 0{,}446\,\text{А/см}^2.$$

Условие $j_{\max} \le j_{доп}$ выполняется.

Мощность водонагревателя, вычисленная по параметрам электродной системы для всех трех фаз равна:

$$P = \frac{3 \cdot U^2 \cdot h \cdot (t_2 - t_1) \cdot \eta_m}{40 \cdot k_{эг} \cdot \rho_{20} \cdot \ln\left[\frac{20°C + t_2}{20°C + t_1}\right]} = \frac{3 \cdot 380^2 \cdot 23 \cdot (80-10) \cdot 0{,}97}{40 \cdot 0{,}166 \cdot 2000 \cdot \ln\left[\frac{20+80}{20+10}\right]} = 41055\,\text{Вт}.$$

Мощность, рассчитанная по параметрам электродной системы практически совпадает с мощностью, вычисленной по технологическим условиям.

Задача 3.6. Электродная система водонагревателя емкостью V = 100 л с тремя экранированными коаксиальными электродами имеет следующие размеры: диаметр наружного электрода $d_н$ = 5,4 см, внутреннего – $d_{вн}$ = 2,0 см, высота электродов h = 20 см, начальная температура воды t_1=20°С, КПД водонагревателя – 90%, питающее напряжение $U_н$ = 380/220 В. Удельное сопротивление воды ρ_{20} = 1000 Ом·см, удельная теплоемкость воды c = 4190 Дж/кг. Определить мощность водонагревателя и температуру воды через τ = 30 мин после включения.

Решение

Геометрический коэффициент электродной системы:

$$k_{эг} = \frac{1}{2\pi} \cdot \ln\left[\frac{d_н}{d_{вн}}\right] = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14} \cdot \ln\left[\frac{5{,}4}{2{,}0}\right] = 0{,}157.$$

Сопротивление фазы нагревателя:

$$R_ф = \frac{k_{эг} \cdot \rho_{20}}{h} = \frac{0{,}157 \cdot 1000}{20} = 7{,}85 \text{Ом}.$$

Мощность водонагревателя:

$$P = \frac{3U_ф^2}{R_ф} = \frac{3 \cdot 220^2}{7{,}85} = 18496{,}8 \text{ Вт} \approx 18{,}5 \text{ кВт}.$$

Постоянная времени нагрева:

$$T = \frac{40 \cdot m \cdot c \cdot k_{эг} \cdot \rho_{20}}{U_ф^2 \cdot \eta \cdot h} = \frac{40 \cdot 100 \cdot 4190 \cdot 0{,}157 \cdot 1000}{220^2 \cdot 0{,}90 \cdot 20} = 3020{,}4 \text{ с}.$$

Мощность водонагревателя через 30 мин после включения:

$$P_\tau = P \cdot e^{\frac{\tau}{T}} = 18{,}5 \cdot e^{\frac{60 \cdot 30}{3020{,}4}} = 18{,}5 \cdot e^{0{,}596} \approx 33{,}6 \text{ кВт}$$

Температура воды через 30 мин после включения:

$$t_\tau = (20°C + t_1) \cdot e^{\frac{\tau}{T}} - 20 = (20 + 20) \cdot e^{\frac{60 \cdot 30}{3020{,}4}} - 20 = 40 \cdot e^{0{,}596} - 20 = 52{,}6 \text{ °C}.$$

Средняя мощность за период нагрева от 20 до 52,6°С равна:

$$P_{ср} = \frac{1}{\tau}\int_0^T P \cdot e^{\frac{\tau}{T}} d\tau = \frac{T}{\tau} \cdot P\left(e^{\frac{\tau}{T}} - 1\right) = \frac{60 \cdot 30}{3020{,}4} \cdot 18{,}5 \cdot \left(1{,}815 - 1\right) \approx 25{,}3\,\text{кВт}.$$

Контрольные задания

1. Определить мощность и рассчитать электродную систему проточного однофазного водонагревателя с плоскими электродами. Объемный расход воды через водонагреватель равен L = 0,5 м^3/ч, температура на входе t_1 = 20°С, а на выходе – t_2 = 80°С. Удельное электрическое сопротивление воды при 20°С равно ρ_{20} = 30 Ом·м. Геометрический коэффициент $k_{эг}=l/b$, где l – расстояние между электродами, м; b – ширина электрода, м. Ширина пластин b=15 см, *КПД* = 0,98.

2. Определить минимально допустимое расстояние между пластинчатыми электродами водонагревателя, если ρ_{20} = 27 Ом·м, а напряжение между электродами 380 В.

3. Рассчитать электродную систему проточного трехфазного водонагревателя, который должен быть установлен в системе горячего водоснабжения для технологических нужд предприятия и развивать мощность P=10 кВт. Температура на входе в электроводонагреватель t_1 = 20°С, а на выходе из него t_2 = 45°С. Удельное электрическое сопротивление воды при 20°С равно ρ_{20} = 30 Ом·м. Водонагреватель подключается к трехфазной сети переменного тока с напряжением 380 В. Система электродов – плоская пластинчатая (табл. П. 7, схема 5), ширина пластин b=10 см. *КПД* = 0,975. Определить межэлектродное расстояние l и высоту пластин h, фактическую напряженность электрического поля между электродами $E_{факт}$ и фактическую плотность тока на электродах $j_{факт}$.

4. Рассчитать электродный водонагреватель производительностью L = 0,27 м^3/ч, удельное сопротивление воды при 20°С равно ρ_{20} = 2000 Ом·см. Температура поступающей из водопровода воды t_1=10°С, а потребной – t_2 = 70°С. Водонагреватель подключается к трехфазной сети переменного тока с напряжением 380 В. Система электродов представляет собой систему со стержневыми электродами (табл. П. 7, схема 2). Корпус цилиндрический, изготовленный из трубы диаметром $d_к = 2r_к$ = 100 мм. Радиус стержневых электродов принимаем из условия $r_э = 0{,}21r_к$. Стержни располагаются в вершинах равностороннего треугольника на расстоянии от оси цилиндра l = 25 мм (из условия $l = 0{,}51r_к$), *КПД* = 98%.

5. Рассчитать электродный водонагреватель для системы отопления. Тепловая мощность системы отопления $Ф$ = 210·10^3 кДж/ч. Удельное электрическое сопротивление воды при 20°С равно ρ_{20} = 2000 Ом·см. Температура воды на входе t_1 = 70°С, а на выходе – t_2 = 95°С. Напряжение питающей сети 380/220 В. Система электродов представляет собой ци-

линдрическую коаксиальную систему (табл. П. 7, схема 1), КПД водонагревателя – 97%.

6. Электродная система водонагревателя емкостью V=100 л с тремя экранированными коаксиальными электродами имеет размеры: диаметр наружного электрода $d_н$= 4,3 см, внутреннего $d_{вн}$=1,6 см, высота электродов h = 20 см, начальная температура воды t_1 = 20°С, КПД водонагревателя – 90%, напряжение питания $U_н$=380/220 В. Удельное сопротивление воды ρ_{20} = 1000 Ом·см; удельная теплоемкость c = 4190 Дж/кг. Определить мощность водонагревателя и температуру воды через τ = 30 мин после включения.

Контрольные вопросы

1. Поясните физическую сущность процесса электродного нагрева.
2. Что такое температурная характеристика удельной проводимости (удельного сопротивления) воды?
3. Приведите примеры простейших типов электродных систем, и охарактеризуйте их основные параметры.
4. Что такое допустимые значения плотности тока или напряженности электрического поля при электродном нагреве?
5. Как определить мощность одной фазы нагревателя при известном фазном напряжении и размерах электродов?
6. В чем состоит задача расчета электродных нагревателей? Какие параметры задаются в качестве исходных данных?
7. Поясните формулу для определения высоты (длины) электродов.
8. Как определить среднюю мощность нагревателя через геометрические размеры электродов?
9. Приведите формулу зависимости мощности от температуры нагрева.
10. Какие существуют преимущества и недостатки электродного нагрева?
11. Поясните существующие принципы регулирования мощности водонагревателей.

4. Косвенный нагрев сопротивлением

Косвенный электрический нагрев сопротивлением является самым распространенным способом электронагрева, так как его техническая реализация достаточно проста и, реализуя его, можно нагревать любые материалы. При этом основным узлом, реализующим преобразование электрической энергии в тепловую, является нагревательный элемент, а нагрев среды происходит за счет теплопередачи конвекцией, излучением, теплопроводностью. Основным элементом нагревателя является нагревательная спираль из электропроводного материала с высоким удельным электрическим сопротивлением, как правило это нихром, которая закрепляется на специальных держателях – открытых нагревателях (нагревательное сопротивление не изолируется от нагреваемой среды) или помещается в корпус – трубку, изготовленную из стали или металлических сплавов. Электрические нагреватели, изготовленные в виде трубки с нагревательной спиралью внутри, получили название трубчатых электрических нагревателей (ТЭНов) или герметичных нагревателей.

4.1. Открытые нагревательные элементы из специальных сплавов и методы их расчета

Электрический расчет открытых нагревателей включает в себя выбор напряжения питания, определение геометрических размеров рабочих сопротивлений и разработку схемы их соединения с учетом требований к регулированию мощности установки.

Электрические открытые нагреватели рассчитывают по удельной поверхностной мощности (удельному поверхностному тепловому потоку) или по рабочему току.

Открытые нагревательные элементы характеризуются удельной поверхностной мощностью ΔP, Вт/м^2, электрических нагревателей:

$$\Delta P = \frac{P_н}{F}, \qquad (4.1)$$

где $P_н$ – мощность нагревательного элемента, Вт; F – площадь поверхности теплоотдачи, м^2.

В установившемся режиме работы электрическая мощность, выделяющаяся в теле нагрева, $P_{эл}$, Вт:

$$P_{эл} = P_m = P, \tag{4.2}$$

где P_m – тепловая мощность, отдаваемая телом нагрева в окружающую среду, Вт.

Соответственно, удельная поверхностная электрическая мощность нагрева $\Delta P_{эл}$, Вт/м^2:

$$\Delta P_{эл} = \frac{P_{эл}}{F} = \frac{I^2 \cdot r_t}{F} = \frac{4 \cdot I^2 \cdot \rho_t}{\pi^2 \cdot d_{пр}^3}, \tag{4.3}$$

где I – ток нагревательного элемента, А; r_t – сопротивление нагревательного элемента, Ом; ρ_t – удельное электрическое сопротивление материала нагревательного элемента, Ом·м; $d_{пр}$ – диаметр круглого провода, из которого выполнено тело нагрева, м,

равна тепловой удельной поверхностной мощности ΔP_m, Вт/м^2:

$$\Delta P_m = \frac{t - t_o}{R_m}, \tag{4.4}$$

где t – температура поверхности нагревательного элемента, °С; t_o – температура окружающей среды, °С; Rт – термическое сопротивление теплопередачи от нагревателя к окружающей среде, (м^2·°С)/Вт.

Допустимая удельная поверхностная мощность электрического нагревательного элемента $\Delta P_{доп}$, Вт/м^2, представляет собой удельную тепловую поверхностную мощность, которую имеет электрический нагреватель при максимально допустимой (для него) температуре и при которой он может работать длительно, не разрушаясь:

$$\Delta P_{доп} = \Delta P_{m(\max)} = \frac{t_{доп} - t_o}{R_m}. \tag{4.5}$$

Допустимая поверхностная мощность $\Delta P_{доп}$, Вт/м^2, проволочных открытых нагревателей определяется по формуле

$$\Delta P_{доп} = \Delta P_{доп(ид)} \cdot a_э \cdot a_ш \cdot a_р \cdot a_с, \tag{4.6}$$

где $\Delta P_{доп(ид)}$ – допустимая поверхностная мощность идеализированного нагревательного элемента, представляющего собой провод диаметром $d_{пр}$=1 мм, длиной 1 м, подвешенный горизонтально в спокойном воздухе, имеющем температуру 20°С, Вт/м^2; $a_э$ – коэффициент эффективности излучения; $a_ш$ – коэффициент, учитывающий геометрию нагревателя

(коэффициент шага); $a_р$ – коэффициент, учитывающий влияние относительных размеров нагревателя и нагреваемого тела; $a_с$ – коэффициент, учитывающий теплопоглощающие свойства среды.

Коэффициент эффективности излучения $a_э$ характеризует эффективность излучения данной системы нагревателя (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Значения коэффициента эффективности при нагреве материала

Тип нагревателя и способ укладки	Коэффициент эффективности $a_э$ при нагреве изделий	
	из стали	из алюминия
Проволочный спиральный на трубе	0,46	0,5
Проволочный спиральный на полочке	0,39	0,47
Проволочный спиральный в пазу	0,31	0,35
Проволочный зигзагообразный в пазу	0,56	0,63
Проволочный зигзагообразный свободно повешенный	0,62	0,68

Коэффициент $a_ш$ учитывает зависимость $\Delta P_{доп}$ от относительного виткового расстояния h/d (рис. 4.1).

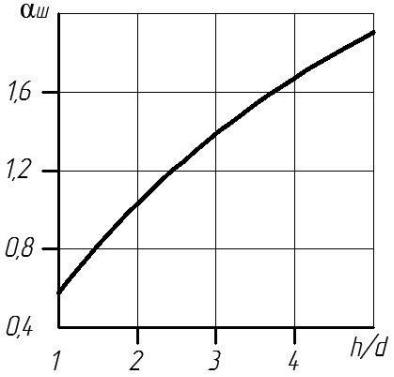


Рис. 4.1. Зависимость коэффициента $a_ш$, учитывающего геометрию нагревателя, от соотношения h/d

Коэффициент $a_р$ учитывает влияние относительных размеров нагреваемого тела на $\Delta P_{доп}$ и зависит от отношения площади тепловоспринимающей поверхности нагреваемого тела $F_{н.т.}$, м^2, к площади поверхности стен установки, занятых нагревателями, $F_{ст}$, м^2. При $F_{н.т.}/F_{ст} \geq 0{,}8$ $a_р=1$; при $F_{н.т.}/F_{ст}<0{,}3$ поправки на размер

нагреваемого тела a_p и коэффициент, учитывающий теплопоглощающие свойства среды, a_c не вводят.

Коэффициент a_p, если отношение $F_{н.т.}/F_{ст}$ меньше 0,3 и более 0,8, находят, используя график, представленный на рисунке 4.2.

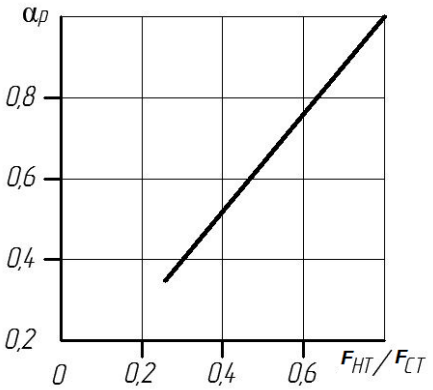


Рис. 4.2. Зависимость коэффициента a_p, учитывающего использование мощности нагревательных элементов

Коэффициент a_c определяет влияние на удельную поверхностную мощность $\Delta P_{доп}$ приведенного коэффициента излучения $c_{пр}$ реального нагревателя:

$$c_{пр} = \frac{5{,}7}{\frac{1}{\varepsilon_{н.т.}} + \frac{F_{н.т.}}{F_{ст}} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{н}} - 1 \right)}, \qquad (4.7)$$

где $\varepsilon_{н.т.}$ и $\varepsilon_{н}$ – относительные коэффициенты теплового излучения (степень черноты) соответственно нагревателя и нагреваемого тела (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Коэффициенты теплового излучения некоторых материалов

Материал	Температура T, К	Степень черноты ε
Графит	1273-3703	0,77-0,83
Кирпич шамотный	293-1273	0,8-0,9
Латунь с тусклой поверхностью	323-623	0,22
Нихром	398-1308	0,64-0,75
Сталь	1213-1373	0,55-0,61
Цинк окисленный	673	0,11

Коэффициент a_c находят, используя график, представленный на рисунке 4.3.

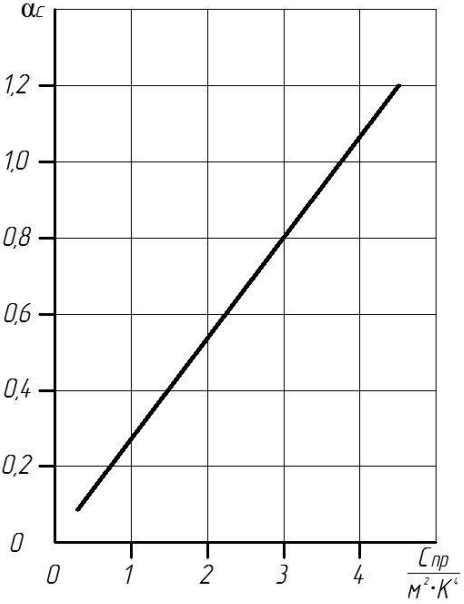


Рис. 4.3. Зависимость коэффициента a_c от приведенного коэффициента излучения $c_{пр}$

Для частного случая допустимую удельную поверхностную мощность $\Delta P_{доп}$, Вт/м^2, нагревателей из проволоки круглого сечения, помещенных горизонтально в воздухе (подвешенных) при температуре t = 20°С находят по формуле

$$\Delta P_{доп} = \frac{\Delta P_{доп(ид)}}{d_{пр}^{0,4}}, \qquad (4.8)$$

где $d_{пр}$ – диаметр проволоки нагревательного элемента, м.

Определение диаметра провода можно провести двумя методами – аналитическим и графо-аналитическим.

Аналитический метод. Для нагревателей, изготовленных из заготовок круглого сечения (проволока, пруток) диаметр нагревательного элемента (м) можно определить по формуле

$$d_{пр} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot \rho_t \cdot I^2}{\pi^2 \cdot \Delta P_{доп}}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot \rho_t \cdot P_н^2}{\pi^2 \cdot \Delta P_{доп} \cdot U_н^2}}, \quad (4.9)$$

где $U_н$ – напряжение на нагревательном элементе, В; $P_н$ – мощность нагревательного устройства, Вт; ρ_t – удельное электрическое сопротивление материала нагревательного элемента при конечной температуре нагрева, Ом·м.

Длина провода (м) нагревательного элемента определяется по следующей формуле

$$l = \sqrt[3]{\frac{U_н^2 \cdot P_н}{4 \cdot \pi \cdot \rho_t \cdot \Delta P_{доп}^2}}. \quad (4.10)$$

Масса нагревателя (кг) при его круглом сечении определяется по формуле

$$m_н = \delta_н \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho_t \cdot P_н^5}{160 \cdot \pi^2 \cdot U_н^2 \cdot \Delta P_{доп}^4}}, \quad (4.11)$$

где $\delta_н$ – плотность материала нагревательного элемента, кг/м^3.

Графо-аналитический метод. Рассчитываются и строятся зависимости удельной поверхностной и удельной допустимой поверхностной мощностей от диаметра проволоки нагревателя $\Delta P_{эл}=f(d_{пр})$ и $\Delta P_{доп}=f(d_{пр})$ на одном графике.

$$\left.\begin{aligned} \Delta P_{эл} &= \frac{4 \cdot P_н^2 \cdot \rho_t}{\pi^2 \cdot d_{пр}^2 \cdot U_н^2} \\ \Delta P_{доп} &= \frac{\Delta P_{доп(ид)}}{d_{пр}^{0,4}} \end{aligned}\right\}. \quad (4.12)$$

По графикам находят оптимальный (минимально допустимый) диаметр проволоки нагревателя $d_{пропт}$, м, который определяется в точке пересечения зависимостей $\Delta P_{эл}= f(d_{пр})$ и $\Delta P_{доп}= f(d_{пр})$. Слева от точки пересечения рабочая температура считается большей по отношению к допустимой, а справа – меньшей. Для дальнейших расчетов принимается ближайший больший диаметр в ряду стандартных диаметров проволоки $d_{пр}$, м:

$$d_{пр} \geq d_{пропт}. \quad (4.13)$$

Определяется длина l, м, провода нагревательного элемента:

$$l = \frac{\pi \cdot r_t \cdot d_{пр}^2}{4 \cdot \rho_t} = \frac{\pi \cdot d_{пр}^2 \cdot U_н^2}{4 \cdot P \cdot \rho_t}. \quad (4.14)$$

Приближенный метод расчета нагревателей из специальных сплавов по таблицам нагрузок. Вначале определяется рабочий ток I_1, А, нагревательного элемента по следующей формуле

$$I_1 = \frac{P_{1н}}{U_н}, \quad (4.15)$$

где $P_{1н}$ – мощность одного нагревательного элемента, Вт; $U_н$ – напряжение, подводимое к нагревательному элементу, В.

Расчетная температура $t_{расч}$, °С, нагревателя, приведенная к условиям таблицы нагрузок нихромовых проводов, определится по формуле:

$$t_{расч} = t_{раб} \cdot k_м \cdot k_c, \quad (4.16)$$

где $t_д$ – действительная температура спирали, $t_д \approx 800 \ldots 1100$ºС; $k_м$ – коэффициент монтажа, учитывающий ухудшение охлаждения по сравнению со стандартными условиями (вытянутая проволока при неподвижном воздухе), поэтому коэффициент монтажа всегда меньше единицы; k_c – коэффициент среды, учитывающий улучшение охлаждения, поэтому он всегда больше единицы.

Выбор диаметра провода осуществляется с использованием таблицы нагрузок (табл. П. 6) по полученным значениям рабочего тока I_1 и расчетной температуры $t_{расч}$, исходя из условий $I \geq I_1$ *и* $t \leq t_{расч}$ при возможно меньшем отличии табличных значений от расчетных.

Коэффициент монтажа учитывает ухудшение теплоотдачи нагревательного элемента при завивке провода в спираль (табл. 4.3). Меньшие значения $k_м$ берут для меньших диаметров проволоки, большие – для больших.

Коэффициент среды k_c учитывает улучшение теплопередачи в подвижной среде (табл. 4.4).

Для принятого провода рассчитывают погонные сопротивления при температуре t=20°С (r, Ом/м) и t=$t_{раб}$ ($r_{раб}$, Ом/м):

$$r = \frac{\rho_{20}}{F}, \quad (4.17)$$

$$r_{раб} = r_{20} \cdot \left(1 + \alpha_t \cdot (t_{раб} - 20°C)\right), \quad (4.18)$$

где ρ_{20} – удельное сопротивление материала провода при температуре 20°С, Ом·м; F – площадь сечения принятого провода, м^2; α_t – температурный коэффициент изменения сопротивления материала провода, °С$^{-1}$.

Таблица 4.3

Значения коэффициента монтажа

Конструктивное выполнение нагревателя	$k_м$
Проволока, натянутая горизонтально в спокойном воздухе	1,0
Проволочная спираль в спокойном воздухе	0,8-0,9
Проволочная спираль на огнеупорном держателе в спокойном воздухе	0,7
Проволока, навитая на огнеупорный держатель в спокойном воздухе	0,6-0,7
Нагревательные сопротивления между двумя слоями тепловой изоляции (закрытые электроплитки, некоторые трубчатые электронагреватели)	0,5
Нагревательные сопротивления с мощной тепловой изоляцией (ТЭНы, электрообогреватели почвы, полы и т.п.)	0,3-0,4

Таблица 4.4

Значения коэффициента среды

Условия окружающей (нагреваемой) среды	k_c
Проволочная спираль в воздушном потоке, скорость которого: 3-5-10 м/с	1,8-2,1-3,1
Нагревательные элементы, погруженные в воду	2,5
Нагревательные элементы, омываемые потоком жидкости	3-3,5

Сопротивление нагревательного элемента r_1, Ом:

$$r_1 = \frac{U_н}{I_1}. \qquad (4.19)$$

Исходя из величины сопротивления проводника r_1, Ом и погонного сопротивления при рабочей температуре $r_{раб}$, Ом/м, определяется длина провода l_1, м для одного нагревательного элемента:

$$l_1 = \frac{r_1}{r_{раб}}. \qquad (4.20)$$

Расчет конструктивных размеров нагревательного элемента состоит из определения диаметра спирали $D_{сп}$, м, шага спирали h, м, числа витков спирали m, длины спирали $L_{сп}$, м.

Следует иметь ввиду, что расстояние $l_к$, м, между точками крепления спирали (во избежание вибрации и её деформации под действием потока воздуха) должно соответствовать условию $l_k \leq 10 \ldots 15 D_{сп}$.

Диаметр витков спирали $D_{сп}$ из нихромовых сплавов принимается равным, м:

$$D_{сп} = (8...10) \cdot d_{пр}. \quad (4.21)$$

Диаметр витков спирали $D_{сп}$ для железохромоалюминиевых сплавов принимается равным, м:

$$D_{сп} = (8...10) \cdot d_{пр}. \quad (4.22)$$

Шаг витков, м:

$$h = (2...4) \cdot d_{пр}. \quad (4.23)$$

Количество витков спирали:

$$m = \frac{l}{\sqrt{(\pi \cdot D_{сп})^2 + h^2}}. \quad (4.24)$$

Длина спирали, м:

$$L_{сп} = m \cdot h. \quad (4.25)$$

4.2. Трубчатые электрические нагреватели и методы их расчета

Электрический расчет нагревательного устройства заключается в разработке схемы соединения нагревателя с учетом требований к регулированию мощности установки, а также в выборе напряжения питания и определении геометрических размеров рабочих нагревателей при рабочей температуре, не превышающей допустимого значения.

При электрическом расчёте ТЭНа необходимо задаться действительной температурой спирали, выполняемой, как правило, из нихромовой проволоки, и определить расчетную температуру, °С:

$$t_{расч} = t_д \cdot k_м \cdot k_с, \quad (4.26)$$

где $t_д$ – действительная температура спирали, $t_д \approx 800…1100$°С; $k_м$ – коэффициент монтажа, учитывающий ухудшение охлаждения по сравнению со стандартными условиями (вытянутая проволока при неподвижном воздухе), поэтому коэффициент монтажа всегда меньше единицы; $k_с$ – коэффициент среды, учитывающий улучшение охлаждения, поэтому он всегда больше единицы.

Результаты расчетов в значительной мере зависят от достоверности значения коэффициентов монтажа и среды $k_м$ и k_c. Значения $k_м$ и k_c приведены в таблицах 4.3 и 4.4.

По значению мощности ТЭНа и приложенного напряжения определяется рабочий ток, А:

$$I = \frac{P_н}{U_н}, \tag{4.27}$$

где $P_н$ – мощность ТЭНа, Вт; $U_н$ – напряжение на ТЭН, В.

По расчетной температуре спирали и значению рабочего тока ТЭНа находят соответствующий диаметр проволоки $d_{пр}$ согласно данным таблицы П. 6.

Требуемая длина проволоки нагревательного элемента ТЭНа определяется из формулы, м:

$$l_{пр} = \frac{U_н^2 \cdot F_{пр}}{P_н \cdot \rho_t}, \tag{4.28}$$

где $F_{пр}$ – сечение провода, мм^2; ρ_t – удельное электрическое сопротивление проводника в зависимости от температуры, Ом·м/мм^2.

$$\rho_t = \rho_{20} \cdot \left(1 + \alpha \cdot (t_д - 20°C)\right), \tag{4.29}$$

где ρ_{20} – удельное электрическое сопротивление нихрома при 20°С, ρ_{20}=1,1 Ом·мм^2/м; α – температурный коэффициент сопротивления нихрома, α=1,65·10^{-6} 1/°С.

Средний диаметр витков спирали $D_{ср}$ принимается равным, м:

$$D_{ср} = (8...10) \cdot d_{пр}. \tag{4.30}$$

Шаг витков, м:

$$h = (2...4) \cdot d_{пр}. \tag{4.31}$$

Количество витков спирали:

$$m = \frac{l_{пр} \cdot 10^3}{\sqrt{(\pi \cdot D_{ср})^2 + h^2}}. \tag{4.32}$$

Длина спирали, м:

$$L_с = m \cdot h. \tag{4.33}$$

Наружный диаметр трубки, м:

$$D_н = (2{,}5...3) \cdot D_{ср}. \tag{4.34}$$

Наружный диаметр трубки не должен превышать значения 16…18 мм, в противном случае необходимо уменьшить мощность ТЭНа.

Полная длина ТЭНа, м:

$$L_{\text{полн}} = L_c + 2 \cdot L_n, \tag{4.35}$$

где L_n – длина пассивной части трубки ТЭНа, может быть принята в зависимости от мощности ТЭНа от 0,02 до 0,1 м.

В тех случаях, когда температура поверхности ТЭНа по технологическим условиям должна быть ограничена, например в связи с тем, что температура теплоотдающей поверхности оребренного ТЭНа электрокалорифера не должна превышать 200…250°С, то необходимо осуществить его тепловой расчет.

Тепловой расчет ТЭНов заключается в определении действительной температуры поверхности оребрения и удельной поверхностной мощности ТЭНа.

Диаметр оребрения D_{op} ориентировочно может быть принят равным, м:

$$D_{\text{ор}} = (2...3) \cdot D_{\text{н}}. \tag{4.36}$$

Температура поверхности оребрения ТЭНа может быть определена из уравнения теплового баланса в установившемся режиме, когда тепловой поток, выделяемый нагревательным сопротивлением, равняется тепловому потоку, снимаемому с его теплоотдающей поверхности, Вт:

$$P_н = \alpha \cdot (t_m - t_в) \cdot F_m, \tag{4.37}$$

где α – коэффициент теплоотдачи от поверхности ТЭНа, Вт/(м^2·°С); t_m – температура теплоотдающей поверхности ТЭНа, °С; $t_в$ – температура воздуха, обдувающего нагреватели, °С; F_m – площадь теплоотдающей поверхности ТЭНа, м^2.

Отсюда

$$t_m = \frac{P_н + \alpha \cdot F_m \cdot t_в}{\alpha \cdot F_m}. \tag{4.38}$$

Коэффициент теплоотдачи α может быть определён по формуле

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{b}, \tag{4.39}$$

где Nu – критерий Нуссельта; λ – коэффициент теплопроводности воздуха, λ=0,027 Вт/м; b – шаг ребер.

Ориентировочно шаг ребер можно определить как

$$b = \frac{D_н}{3..4}. \tag{4.40}$$

Критерий Нуссельта равен:

$$Nu = c \cdot Re^m \cdot \left(\frac{D_н}{b}\right)^{-0,54} \left(\frac{h_p}{b}\right)^{-0,14}, \tag{4.41}$$

где *c, m* – коэффициенты соответственно равны 0,104 и 0,72 для коридорного расположения ТЭНов и 0,223 и 0,65 – для шахматного расположения; *Re* – критерий Рейнольдса; h_p – высота ребра, м.

Высота ребра определяется из выражения, м:

$$h_p = \frac{D_{op} - D_н}{2}. \tag{4.42}$$

Критерий Рейнольдса определяет режим обтекания ТЭНов воздухом и равен:

$$Re = \frac{\upsilon_в \cdot b}{\nu}, \tag{4.43}$$

где $\upsilon_в$ – скорость нагреваемого от ТЭНов воздуха, обычно около 6-8 м/с; ν – коэффициент кинематической вязкости воздуха, $\nu = 18{,}5 \cdot 10^{-6}$ м^2/с.

Площадь теплоотдающей поверхности ТЭНа равна:

$$F_m = F_{op} + F_{mp}, \tag{4.44}$$

где F_{op} – площадь поверхности оребрения, м^2; F_{mp} – площадь наружной поверхности трубки, свободной от ребер, м^2,

$$F_{op} = f_в \cdot m_p, \tag{4.45}$$

где $f_в$ – площадь одного витка оребрения, м^2; m_p – число ребер.

Площадь оребрения будет равна м^2:

$$F_{op} = \left(\frac{\pi D_{op}^2}{4} - \frac{\pi D_н^2}{4}\right) \cdot 2m_p = \frac{\pi \cdot m_p}{2}\left(D_{op}^2 - D_н^2\right). \tag{4.46}$$

Число ребер m_p определяется по формуле

$$m_p = \frac{L_c}{b}. \tag{4.47}$$

При определении общей площади теплоотдачи площадью F_{mp} можно пренебречь, так как она обычно составляет не более 3…5% от F_{op}. При уточненном расчете эту площадь необходимо учесть.

Удельная поверхностная мощность равна, Вт/см^2:

$$\Delta P = \frac{P_н}{F_m}. \quad (4.48)$$

Предельно допустимые значения ΔP приведены в таблице П. 10.

Удельная поверхностная мощность для случая передачи тепла теплопроводностью может быть определена как, Вт/м^2:

$$\Delta P = \frac{\Delta t}{r_m}, \quad (4.49)$$

где r_m – термическое сопротивление, (м^2·°С)/Вт.

В реальных электронагревательных установках термическое сопротивление выражается сложными зависимостями, которые определяются формой и размерами нагревателей и электрической изоляции, однородностью нагреваемых материалов. Нагреватели очень часто изготавливают в виде многослойных концентрических цилиндров, в частности таковыми являются неоребренные трубчатые нагреватели. Внутри металлической трубки расположена нихромовая спираль, изолированная от корпуса трубки наполнителем. Термическое сопротивление потоку тепла от спирали к трубке, отнесенное к 1 м длины нагревателя, определяется полуэмперической зависимостью, (м·°С)/Вт:

$$r_{ml1} = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_1} \cdot \left[\ln \frac{D_{вн}}{D_{ср}} + 10^{-3} \left(0{,}5 + 0{,}59 \frac{d_{пр}}{D_{ср}} \right) \left(\frac{h}{d_{пр}} - 1 - 6{,}56 \left(\frac{d_{пр}}{D_{вн}} \right)^{0{,}38} \right) \right], \quad (4.50)$$

где λ_1 – коэффициент теплопроводности наполнителя, Вт/(м·°С); $D_{ср}$ – средний диаметр спирали, м; $d_{пр}$ – диаметр нагревательного провода (диаметр нихромовой проволоки спирали), м; h – шаг витков спирали, м; $D_{вн}$ – внутренний диаметр цилиндрической трубки (стенки), м.

Термическое сопротивление наружной однослойной цилиндрической стенки длиной 1 м, (м·°С)/Вт:

$$r_{ml2} = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_2} \cdot \ln \left[\frac{D_н}{D_{вн}} \right], \quad (4.51)$$

где λ_2 – коэффициент теплопроводности стенки (трубки), Вт/(м·°С); $D_н$ – наружный диаметр цилиндрической трубки (стенки), м.

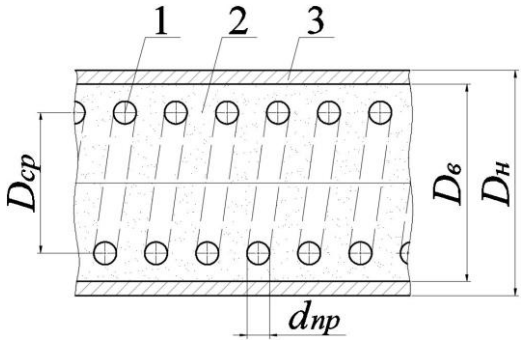


Рис. 4.4. Разрез трубчатого нагревателя (ТЭНа):
1 – нихромовая проволока; 2 – наполнитель; 3 – трубка (корпус)

Суммарное термическое сопротивление от спирали к наружной поверхности (стенки) нагревателя, (м·°С)/Вт:

$$r_{ml} = r_{ml1} + r_{ml2}. \tag{4.52}$$

Мощность с 1 м нагревателя определяется по формуле, Вт/м:

$$\Delta P_l = \frac{\Delta t}{r_{ml}}, \tag{4.53}$$

где Δt – температурный перепад между спиралью и наружной поверхностью, °С.

Для перехода к удельной поверхностной мощности следует выполнить следующие действия. Поверхность проволоки равна поверхности некоторого эквивалентного цилиндра диаметром $D_э$, для которого термическое сопротивление 1 м наполнителя, согласно выражению (4.51), равно:

$$r_{ml1} = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_1} \cdot \ln\left[\frac{D_{вн}}{D_э}\right]. \tag{4.54}$$

Из выражения (4.54) диаметр эквивалентного цилиндра (м) можно определить, как

$$D_э = e^{\left(\ln D_в - 2\cdot\pi\cdot\lambda_1\cdot r_{ml1}\right)}. \tag{4.55}$$

Удельное термическое сопротивление тепловому потоку с 1 м^2 поверхности проволоки, (м$^2\cdot$°С)/Вт:

$$r_m = r_{ml} \cdot \pi \cdot D_э \cdot 10^{-3}. \tag{4.56}$$

Удельная поверхностная мощность может быть определена по выражению (4.49).

4.3. Схемы включения нагревательных элементов и способы регулирования мощности электротермических установок

Нагревательные элементы электротермических установок рассчитаны на конкретные значения мощности и напряжения. Чтобы обеспечить номинальный режим, их подключают к питающей сети соответствующего напряжения.

В процессе работы электротермической установки, например, электронагревателя сопротивления, мощность электрических нагревателей можно регулировать, изменяя напряжение питания $U_н$ или сопротивление нагревателя $R_н$. Наиболее просто мощность регулировать ступенчато, переключая нагревательные элементы таких установок на различные схемы соединения. При этом изменяется либо число подключенных к сети элементов и их общее сопротивление, либо напряжение на каждом из них.

Нагреватели мощностью до 1 кВт обычно выполняют однофазными, а свыше 1 кВт – трёхфазными.

Однофазные нагревательные установки с регулируемой мощностью имеют два и более нагревательных элемента (секции). Регулируют мощность таких установок переключением секций, включая их параллельно или последовательно. Так, максимальная мощность будет при параллельно включённых секциях:

$$P_{пар}=\frac{U^2}{R}=\frac{n\cdot U^2}{R_{1н}}, \qquad (4.57)$$

где $R_{1н}$ – сопротивление одного нагревателя, Ом; n – число секций в электротермической установке.

В случае последовательно включённых секций мощность будет минимальной:

$$P_{посл}=\frac{U^2}{R}=\frac{U^2}{n\cdot R_{1н}}. \qquad (4.58)$$

Отношение этих мощностей при одинаковом значении питающего напряжения составляет:

$$P_{пар}/P_{посл}=n^2. \qquad (4.59)$$

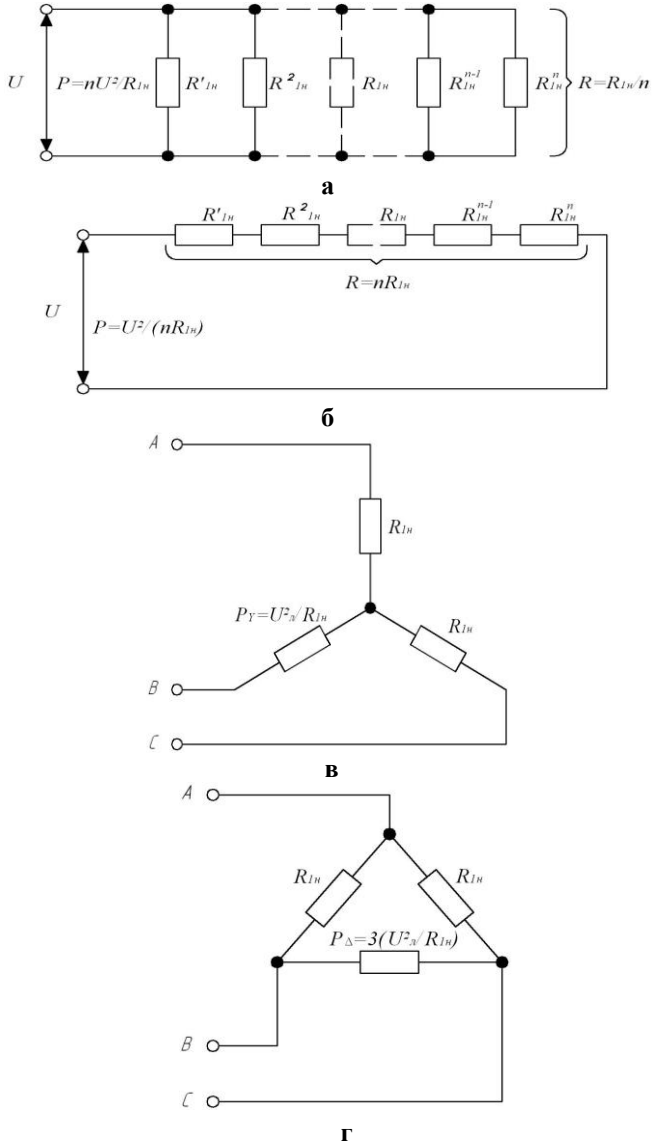


Рис. 4.5. Схемы включения нагревательных секций:
а, б – однофазных (параллельное и последовательное включение);
в, г – трёхфазных (по схеме включения «звезда» и «треугольник»)
электронагревательных устройств

Для трёхфазных установок число секций должно быть кратно трём, поэтому с учётом того, что такое соединение представляет собой симметричную систему:

$$P = 3 \cdot P_{ф} = 3 \cdot U_{ф} \cdot I_{ф} \cdot \cos\varphi. \quad (4.60)$$

Для трёхфазных установок, у которых элементы в секциях соединены:

– по схеме «звезда»:

$$P_{зв} = 3 \cdot U_{ф} \cdot I_{ф} = \frac{3 \cdot U_{ф}^{2}}{R_{1н}} = \frac{U_{л}^{2}}{R_{1н}}, \quad (4.61)$$

– по схеме «треугольник»:

$$P_{тр} = 3 \cdot U_{ф} \cdot I_{ф} = \frac{3 \cdot U_{л}^{2}}{R_{1н}}. \quad (4.62)$$

Отношение мощностей:

$$\frac{P_{тр}}{P_{зв}} = \frac{3}{1}. \quad (4.63)$$

Изменяя схему включения нагревательных элементов, мощность можно регулировать ступенчато, что применимо, когда не требуется точное поддержание температуры, и такое регулирование называется ступенчатым. Регулировать мощность ЭТУ сопротивлением также можно, отключая или включая часть электронагревательных элементов или полностью всей установки. Такой принцип изменения мощности ЭТУ сопротивлением достаточно просто реализовать на практике, используя для этих целей релейно-контактную коммутационную аппаратуру.

Изменением напряжения питания U можно плавно регулировать мощность и более точно поддерживать температуру.

Примеры решения задач

Задача 4.1. Рассчитать закалочную печь мощностью 15 кВт, для нагрева стальных стержней диаметром D = 80 мм и длиной l = 350 мм. В печь одновременно укладывается n = 6 деталей, изготовленных из стали (плотность стали δ = 7,8 кг/дм^3; теплоемкость стали c = 0,482 кДж/(кг·°С)). Между деталями и тепловой изоляцией рекомендуется зазор размером Δ = 110-140 мм. Продолжительность нагрева τ = 2 ч. Температура закалки $t_з$ = 870°С, наруж-

ная – $t_н$ = 20°С. Тепловая изоляция состоит из двух слоев: первый слой толщиной $\Delta_ш$ = 65 мм – из шамотовых кирпичей; второй слой – вермикулитовая засыпка толщиной $\Delta_в$ = 250 мм. Напряжение сети U = 380/220 В.

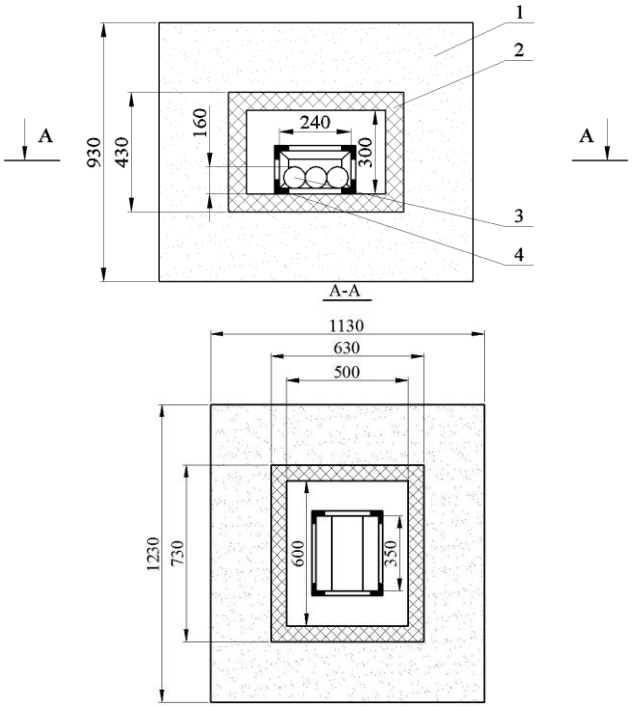


Рис. 4.6. Эскиз футеровки закалочной печи:
1 – слой теплоизоляции; 2 – слой огнеупорной изоляции; 3 – нагреваемые детали; 4 – контейнер из жаропрочной стали

Решение

Приведённый коэффициент излучения изделия $c_{пр}$:

$$c_{пр} = \frac{5{,}7}{\frac{1}{\varepsilon_{н.т.}} + \left(\frac{1}{\varepsilon_н} - 1\right)} = \frac{5{,}7}{\frac{1}{0{,}8} + \left(\frac{1}{0{,}8} - 1\right)} = 3{,}8,$$

где $\varepsilon_{н.т.}$ и $\varepsilon_н$ – степень черноты материала нагреваемого тела и нагревателя, для стали и нихрома примем $\varepsilon_{н.т.}$=0,8 и $\varepsilon_н$=0,8.

Удельная поверхностная мощность $\Delta P_{ид}$ для идеального нагрева:

$$\Delta P_{ид} = c_{пр} \cdot \left(\left(\frac{T_н}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{н.т.}}{100} \right)^4 \right) = 3{,}8 \cdot \left(\left(\frac{1373}{100} \right)^4 - \left(\frac{1143}{100} \right)^4 \right) \cdot 10^{-4} =$$

$$= 7{,}13 \text{ Вт/см}^2,$$

где $T_н$ и $T_{н.т.}$ – абсолютные температуры нагревателя и нагреваемого тела, К.

Температуру нагревателя из нихрома примем равной t = 1100°С.

Коэффициент, учитывающий неполное использование мощности нагревательных элементов, $a_р$ зависит от соотношения площадей нагреваемого тела $F_{н.т.}$ и поверхности стен, занятой нагревателями, $F_{ст}$. Согласно расчету тепловой изоляции печи (см. задачу 1.10), ее внутренняя поверхность $F_{вн}$=1,26 м^2, из которой только:

$$F_{ст} = \left[0{,}6 \cdot 0{,}5 + (0{,}3 \cdot 0{,}6) \cdot 2 + 0{,}5 \cdot 0{,}3 \right] = 0{,}81 \text{ м}^2$$

занято нагревателями (без использования для размещения нагревателей двери и свода). Поверхность нагреваемых тел (изделий):

$$F_{н.т.} = \pi \cdot D \cdot l \cdot \left(\frac{n}{2} + 1 \right) + \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot n = 3{,}14 \cdot 0{,}08 \cdot 0{,}35 \cdot \left(\frac{6}{2} + 1 \right) + \frac{3{,}14 \cdot 0{,}08^2}{4} \cdot 6 =$$

$$= 0{,}382 \text{ м}^2.$$

Коэффициент $a_р$ находят по графику, приведенному на рисунке 4.2, тогда при $\frac{F_{н.т.}}{F_{ст}} = \frac{0{,}382}{0{,}81} \approx 0{,}47$ $a_р$=0,6.

Принимается конструкция нагревателей в виде проволочных спиралей, расположенных на полочках. Из таблицы 4.1 выбирается коэффициент эффективности системы для данной конструкции $a_э$= 0,32.

Минимальное витковое расстояние $h/d_{пр}$= 3. Коэффициент, учитывающий геометрию нагревателя, $a_ш$= 1,4 (рис. 4.1).

Реальная удельная поверхностная мощность $\Delta P_{реал}$:

$$\Delta P_{доп} = \Delta P_{доп(ид)} \cdot a_э \cdot a_ш \cdot a_р \cdot a_с = 7{,}13 \cdot 0{,}32 \cdot 1{,}4 \cdot 0{,}6 \cdot 1 = 1{,}92 \text{ Вт/см}^2.$$

Мощность одной фазы $P_ф$ трехфазного нагревательного устройства:

$$P_ф = \frac{P}{3} = \frac{15}{3} = 5 \text{ кВт}.$$

Диаметр электрических нагревателей $d_{пр}$ из нихромовой проволоки при напряжении на нагревателе $U_н$=380 В при схеме соединения «треугольник» (предварительно):

$$d_{пр} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 10^5 \cdot \rho_t \cdot P_ф^2}{\pi^2 \cdot \Delta P_{доп} \cdot U_н^2}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 10^5 \cdot 1{,}15 \cdot 5^2}{3{,}14^2 \cdot 1{,}92 \cdot 380^2}} = 1{,}6 \text{ мм},$$

где ρ_t – удельное электрическое сопротивление материала провода, (Ом·мм^2)/м; для нихрома ρ_t =1,15 (Ом·мм^2)/м.

Сопротивление фазы нагрузки $R_ф$:

$$R_ф = \frac{U_н^2}{10^3 \cdot P_ф} = \frac{380^2}{10^3 \cdot 5} = 28{,}8 \text{ Ом}.$$

Длина проволоки $l_ф$ на фазу:

$$l_ф = \frac{R_ф \cdot \pi \cdot d_{пр}^2}{4 \cdot \rho_t} = \frac{28{,}8 \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}6^2}{4 \cdot 1{,}15} \approx 50{,}4 \text{ м}.$$

Диаметр спирали $D_{сп}$ при диаметре провода $d_{пр} \leq 3$ мм:

$$D_{сп} = 10 \cdot d_{пр} = 10 \cdot 1{,}6 = 16 \text{ мм}.$$

Длина витка спирали $l_в$,:

$$l_в = \pi \cdot D_{сп} = 3{,}14 \cdot 16 = 50{,}3 \text{ мм}.$$

Количество витков на одну фазу устройства $m_{в1}$:

$$m_{в1} = \frac{l_ф}{l_в} = \frac{50{,}4}{50{,}3 \cdot 10^{-3}} = 1000 \text{ витков}.$$

Шаг спирали h, мм, определяется из принятого соотношения $h/d_{пр}$=3:

$$h = 3 \cdot d_{пр} = 3 \cdot 1{,}6 = 4{,}8 \text{ мм}.$$

Длина спирали $l_{сп.1}$ на одну фазу:

$$l_{сп.1} = m_{в1} \cdot h = 1000 \cdot 4{,}8 = 4{,}8 \text{ м}.$$

Общая длина спирали $l_{сп}$:

$$l_{сп} = l_{сп.1} \cdot 3 = 4{,}8 \cdot 3 = 14{,}4 \text{ м}.$$

Такое количество нагревательных элементов разместить в печи затруднительно. Поэтому необходимо снизить напряжение до $U_н$=220 В, то есть нагреватели соединить по схеме «звезда» и все расчеты, начиная с определения диаметра нагревательной проволоки, повторить.

В результате повторных расчетов получаем: $d_{пр}$= 2,5 мм; $R_ф$= 9,6 Ом; $l_ф$= 41,1 м; $D_{сп}$= 25 мм; $l_в$ = 78,5 мм; $m_{в1}$ = 523 витка;

h = 7,5 мм; $l_{сп.1}$ = 3,92 м; $l_{сп}$= 11,8 м. Полученные расчетные параметры нагревателей позволяют разместить их в поду на боковых и задней стенке.

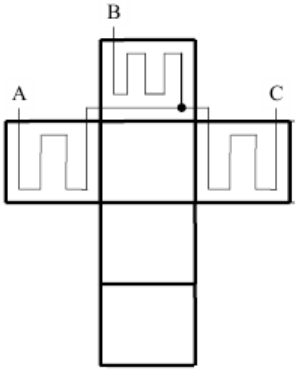


Рис. 4.7. Развертка нагревательной печи с изображением схемы подключения нагревательных элементов

Срок службы τ, ч, нагревательных элементов из нихрома:

$$\tau = d_{пр} \cdot \tau_{пр} \cdot k_{ф} = 2{,}5 \cdot 500 \cdot 1{,}0 = 1250 \text{ ч},$$

где $\tau_{пр}$ – срок службы нагревателя при диаметре провода $d_{пр}$=1 мм, для сплава Х23Н18 при t=1100°С, $\tau_{пр}$=500 ч; $k_{ф}$ – коэффициент, учитывающий форму сечения нагревателя, для круглой проволоки $k_{ф}$=1,0.

При семичасовом рабочем дне и односменной работе срок службы нагревателей составит 180 рабочих дней. Для увеличения срока службы надо взять сплав Х15Н60К3, для которого $\tau_{пр}$= 2000 ч и τ = 5000 ч, что позволит работать нагревателям более 2 лет без замены.

Задача 4.2. Рассчитать электрический нагреватель в виде открытой проволочной спирали по допустимой удельной поверхностной мощности ΔP. Мощность нагревателя P = 2,5 кВт; напряжение питания U = 220 В; материал провода – нихром Х20Н80 (сплав из 20% хрома и 80% никеля), его удельное электрическое сопротивление ρ_{20} = $1{,}1 \cdot 10^{-6}$ Ом·м; температурный коэффициент сопротивления α=$16 \cdot 10^{-6}$ 1/°С; спираль открытая, находится в металлической пресс-форме, рабочая температура спирали $t_{сп}$ = 400°С; значение допустимой удельной поверхностной мощности ΔP =$12 \cdot 10^{4}$ Вт/м^2.

Решение

Сопротивление проволочной спирали:

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{2500} = 19{,}36\ \text{Ом}.$$

Удельное электрическое сопротивление при $t_{сп}$= 400°С

$$\rho = \rho_{20} \cdot (1 + \alpha\theta) = 1{,}1 \cdot 10^{-6} \cdot \left(1 + 16 \cdot 10^{-6} \cdot (400 - 20)\right) = 1{,}11 \cdot 10^{-6}\ \text{Ом·м}.$$

Определяем диаметр провода:

$$d_{пр} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot \rho \cdot P^2}{U^2 \cdot \pi^2 \cdot \Delta P}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 1{,}11 \cdot 10^{-6} \cdot 2500^2}{220^2 \cdot 3{,}14^2 \cdot 12 \cdot 10^4}} = 0{,}00078\text{м} = 1\ \text{мм}.$$

Из выражения $R = \frac{\rho \cdot l}{F}$, учитывая, что $F = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$, получим, что длина провода равна:

$$l_{пр} = \frac{\pi \cdot R \cdot d_{пр}^2}{4 \cdot \rho} = \frac{3{,}14 \cdot 19{,}36 \cdot 0{,}001^2}{4 \cdot 1{,}1 \cdot 10^{-6}} = 13{,}8\text{м}.$$

Средний диаметр витка спирали:

$$D_{ср} = 10 \cdot d_{пр} = 10 \cdot 0{,}001 = 0{,}01\text{м} = 10\ \text{мм}.$$

Шаг спирали:

$$h = 3 \cdot d_{пр} = 3 \cdot 0{,}001 = 0{,}03\text{м} = 3\ \text{мм}.$$

Число витков спирали:

$$m = \frac{l}{\sqrt{(\pi \cdot D_{ср})^2 + h^2}} = \frac{13{,}8}{\sqrt{(3{,}14 \cdot 0{,}01)^2 + 0{,}003^2}} = 437{,}498 \approx 438.$$

Длина спирали:

$$l_{сп} = h \cdot m = 0{,}003 \cdot 438 = 1{,}314\text{м} = 1314\ \text{мм}.$$

Задача 4.3. Рассчитать конструктивные параметры проволочного нагревателя сопротивления в виде открытой проволочной спирали по таблицам токовых нагрузок. Мощность проволочного нагревателя $P_н$ = 3146 Вт; напряжение питания U = 220 В; материал провода – нихром Х20Н80 (сплав из 20% хрома и 80% никеля), его удельное электрическое сопротивление ρ_{20} = $1{,}1 \cdot 10^{-6}$ Ом·м; температурный коэффициент сопротивления α = $16 \cdot 10^{-6}$ 1/°С; спираль открытая, расположенная в потоке воздуха ($k_м$ = 0,85, $k_с$ = 2,0), допустимая рабочая температура провода $t_{доп}$= 470°С.

Решение

Определяем расчетную температуру:

$$t_{расч} = t_{раб} \cdot k_м \cdot k_c = 0{,}85 \cdot 2{,}0 \cdot 470 = 800°\text{C}.$$

Ток проектируемого нагревателя равен:

$$I = \frac{P_н}{U} = \frac{3146}{220} = 14{,}3\ \text{А}.$$

По таблице токовых нагрузок (табл. П. 6) при расчетной температуре $t_{расч}$= 800°С и рабочем токе I = 14,3 А находим диаметр и сечение проволочного нагревателя $d_{пр}$= 1,0 мм и S = 0,785 мм^2.

Длина нагревательного провода:

$$l_{пр} = \frac{R \cdot F}{\rho_t} = \frac{\frac{U^2}{P_н} \cdot F}{\rho_{20} \cdot \left(1 + \alpha \cdot \left(t_p - 20\right)\right)} = \frac{\frac{220^2}{3146} \cdot 0{,}785 \cdot 10^{-6}}{1{,}1 \cdot 10^{-6} \cdot \left(1 + 16 \cdot 10^{-6} \cdot \left(800 - 20\right)\right)} =$$

$$= \frac{15{,}3 \cdot 0{,}785 \cdot 10^{-6}}{1{,}11 \cdot 10^{-6}} = 10{,}9\ \text{м}.$$

Средний диаметр витка спирали:

$$D_{ср} = 10 \cdot d_{пр} = 10 \cdot 0{,}001 = 0{,}01\text{м} = 10\ \text{мм}.$$

Шаг спирали:

$$h = 3 \cdot d_{пр} = 3 \cdot 0{,}001 = 0{,}03\text{м} = 3\ \text{мм}.$$

Число витков спирали:

$$m = \frac{l}{\sqrt{\left(\pi \cdot D_{ср}\right)^2 + h^2}} = \frac{9{,}8}{\sqrt{\left(3{,}14 \cdot 0{,}01\right)^2 + 0{,}003^2}} = 311.$$

Длина спирали:

$$l_{сп} = h \cdot m = 0{,}003 \cdot 311 = 0{,}933\text{м} = 93{,}3\ \text{мм}.$$

Задача 4.4. Определить необходимую длину стальной оцинкованной проволоки (удельное электрическое сопротивление $\rho_{20} = 0{,}135 \cdot 10^{-4}$ Ом·см; температурный коэффициент сопротивления α = 0,0045 1/°С) диаметром $d_{пр}$= 3 мм для обогрева почвы в парниках. Мощность обогрева P = 10 кВт. Проволока прокладывается в асбоцементных трубах, заложенных в подпочвенный слой. По экспериментальным данным, термическое сопротивление от проволоки в почве составляет r_m= 0,004 (м^2·°С)/Вт, температура почвы $t_{поч}$=18°С, напряжение питания U = 220 В, $cos\varphi$ = 0,86.

Решение

Принимаем по справочным данным рабочую температуру проволоки $t_{пр}$=275 °С.

Удельное электрическое сопротивление при $t_{пр}$=275°С:

$$\rho_t = \rho_{20} \cdot (1 + \alpha\theta) = 0{,}135 \cdot 10^{-4} \cdot (1 + 0{,}0045 \cdot (275 - 18)) = 0{,}292 \cdot 10^{-4} \text{ Ом·см}.$$

Коэффициент поверхностного эффекта вычисляем по формуле

$$k_n = 1 + 0{,}0176 \cdot d^{2{,}2} = 1 + 0{,}0176 \cdot 3^{2{,}2} = 1{,}2.$$

Длину проволоки для нагрева определяем по формуле

$$l_{пр} = \sqrt[3]{\frac{P \cdot U^2 \cdot \cos^2\varphi \cdot r_м^2}{4\pi \cdot \rho_t \cdot \Delta t^2 \cdot k_n}} = \sqrt[3]{\frac{10^5 \cdot 10 \cdot 220^2 \cdot 0{,}86^2 \cdot 0{,}04^2}{4 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}292 \cdot 10^{-6} \cdot (275-18)^2 \cdot 1{,}2}} = 125 \text{м}.$$

Если принять, что длина двадцатирамного парника 21,7 м, то при двух почвенных нагревателях необходимо включить последовательно шесть нагревателей трех парников. Уточненная длина проволоки составит 121 м.

Задача 4.5. В непроточном элементном аккумуляционном водонагревателе, предназначенном для удовлетворения потребности в горячей воде коровника на 50 голов, установлено три одинаковых ТЭНа, имеющих условное обозначение по ГОСТ 13268-88: ТЭН–210А13/3,0Р380. ТЭНы соединены в «звезду» и подключены к трехфазной сети с линейным напряжением *U=380 В*. В водонагревателе нагревается *V=100 л* воды от начальной температуры t_1=5°С до конечной температуры t_2=90°С, КПД водонагревателя $\eta_в$=0,95, удельная теплоемкость воды c=4,19 кДж/(кг·°С), а плотность воды δ=1000 кг/м^3. Сколько времени будет длиться нагрев?

Решение

При соединении в «звезду» напряжение на каждом ТЭНе равно $U_ф$=220 В. Номинальное же напряжение ТЭНа, как это следует из его условного обозначения, равно 380 В, а номинальная мощность ТЭНа – $P_н$=3 кВт.

Следовательно, фактическая мощность ТЭНа будет равна:

$$P = P_н \cdot \left(\frac{U_ф}{U}\right)^2 = P_н \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2 = 3 \cdot \frac{1}{3} = 1 \text{ кВт}.$$

Общая мощность водонагревателя: P_B=3·P=3·1=3 кВт.

Полезный тепловой поток (полезная тепловая мощность) водонагревателя:

$$\Phi_n = P_B \cdot \eta_в = 3 \cdot 0{,}95 = 2{,}85 \text{ кВт}.$$

Время нагрева определим из формулы

$$\tau = \frac{m \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{\Phi_n} = \frac{V \cdot p \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{\Phi_n} = \frac{0.1 \cdot 1000 \cdot 4{,}19 \cdot (90-5)}{2850} = 12496 \text{ с} =$$

$$= 3{,}47 \text{ ч}.$$

Задача 4.6. В соответствии с технологическими (зоотехническими) требованиями необходимо подогреть молоко в бидоне перед выпойкой телят. Емкость, в которой нагревают молоко, вмещает m = 50 кг. Начальная температура молока t_1 = 10°С, а конечная – t_2 = 30°С. Подобрать ТЭНы, которые могли бы быть встроены в крышку бидона в качестве переносного нагревателя. Высота бидона h = 0,7 м, время нагрева τ = 30 мин, КПД установки η = 0,85. Средняя удельная теплоемкость молока в рассматриваемом диапазоне температур c = 3,92 кДж/(кг·°С).

Решение

Потребная мощность нагревательного устройства:

$$P = \frac{c \cdot m \cdot (t_2 - t_1)}{3600 \cdot \eta} = \frac{3{,}92 \cdot 50 \cdot (30-10)}{3600 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}85} = 2{,}56 \text{ кВт}.$$

Для молока допустимая удельная нагрузка ТЭНов (табл. П. 10) ΔP=2 Вт/см^2.

Необходимая активная поверхность нагревателей:

$$F_{акт} = \frac{P}{10 \cdot \Delta P} = \frac{2{,}56 \cdot 10^3}{10 \cdot 2} = 128 \text{ см}^2 = 0{,}128 \text{ м}^2.$$

Учитывая размер бидона, по каталожным данным выбираем нагреватели ТЭН-33, имеющие развернутую длину l = 1,27 м и диаметр d = 13,5 мм, активная длина ТЭНа (на 5% меньше развернутой) $l_{акт}$=1,2 м.

Активная поверхность ТЭНа равна:

$$F_{1акт} = \pi \cdot d \cdot l_{акт} = 3{,}14 \cdot 13{,}5 \cdot 1{,}2 = 50{,}868 \text{см}^2 = 0{,}051 \text{ м}^2.$$

Необходимое число нагревателей:

$$n = \frac{F_{акт}}{F_{1акт}} = \frac{0{,}128}{0{,}051} = 2{,}51 \approx 3.$$

Принимаем три нагревателя с трубками из нержавеющей стали Х18Н10Т с U-образным исполнением для возможности встраивания в крышку. Так как мощность нагревательного устройства больше 1 кВт, то нагреватель должен быть трехфазным.

Задача 4.7. Определить основные электротехнические параметры оребренного ТЭНа и выполнить его теплотехнический расчет при следующих условиях: напряжение питания 380 В, мощность 2,2 кВт, скорость воздуха при обтекании оребренной поверхности 8 м/с. Расположение ТЭНов коридорное. Температура воздуха, обдувающего ТЭН, составляет +15 °С.

Решение

Задаемся действительной рабочей температурой равной 1100°С. Расчетная температура, по которой выбирается сечение нагревательной проволоки, будет равна:

$$t_{расч} = t_д \cdot k_м \cdot k_c = 1100 \cdot 0{,}55 \cdot 1{,}5 = 900\,°\text{C},$$

где $k_м$ – коэффициент монтажа для спирали, помещенной в оребренную трубку, равен 0,5…0,6, k_c – коэффициент среды для спирали в воздушном потоке принимается в пределах 1,2…1,5 (табл. 4.1, 4.2).

Определяем рабочий ток:

$$I = \frac{P_н}{U_н} = \frac{2200}{380} = 5{,}8\,\text{А}.$$

По расчетной температуре 900°С и рабочему току 5,8 А (табл. П. 6), выбираем диаметр и сечение нагревательного провода, $d_{пр}$ = 0,45 мм, сечением 0,159 мм^2.

Удельное сопротивление проводника из нихрома при рабочей температуре 1100°С будет равно:

$$\rho_t = \rho_{20}\left[1 + \alpha \cdot (t_{раб} - 20)\right] = 1{,}1(1 + 1{,}65 \cdot 10^{-6} \cdot (1100 - 20) = 1{,}102\,\text{Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}.$$

Вследствие очень малого температурного коэффициента удельного электрического сопротивления нихрома его удельное сопротивление (α) практически не изменилось.

Требуемая длина проволоки нагревательного элемента ТЭНа будет равна:

$$l_{пр} = \frac{U_н^2 \cdot F_{пр}}{P_н \cdot \rho_t} = \frac{380^2 \cdot 0{,}159}{2200 \cdot 1{,}102} = 9{,}42\,\text{м}.$$

Средний диаметр витков спирали $D_{ср}$ принимается равным:

$$D_{ср} = 10 \cdot d_{пр} = 10 \cdot 0{,}45 = 4{,}5 \text{ мм.}$$

Шаг витков:

$$h = (2...4) \cdot d_{пр} = 2 \cdot 0{,}45 = 0{,}9 \text{ мм.}$$

Количество витков спирали:

$$m = \frac{l_{пр} \cdot 10^3}{\sqrt{(\pi \cdot D_{ср})^2 + h^2}} = \frac{9{,}42 \cdot 10^3}{\sqrt{(3{,}14 \cdot 4{,}5)^2 + 0{,}9^2}} = 666.$$

Длина спирали:

$$L_c = m \cdot h = 666 \cdot 0{,}9 = 599{,}4 \text{ мм.}$$

Наружный диаметр трубки:

$$D_н = (2{,}5...3) \cdot D_{ср} = 3 \cdot 4{,}5 = 13{,}5 \text{ мм.}$$

Полная длина ТЭНа:

$$L_{полн} = L_c + 2L_п = 599{,}4 + 2 \cdot 50 = 699 \text{ мм.}$$

Диаметр оребрения $D_{ор}$ будет равен:

$$D_{ор} = 2{,}5 \cdot D_н = 2{,}6 \cdot 13{,}5 = 35 \text{ мм.}$$

Шаг ребер будет равен:

$$b = \frac{D_Н}{3...4} = \frac{13{,}5}{3} = 4{,}5 \text{ мм.}$$

Высота ребра определяется по следующему выражению:

$$h_р = \frac{D_{ор} - D_н}{2} = \frac{35 - 13{,}5}{2} = 10{,}8 \text{ мм.}$$

Критерий Рейнольдса будет равен:

$$Re = \frac{\upsilon_в \cdot b}{\nu} = \frac{8 \cdot 4{,}5^{-3}}{18{,}5 \cdot 10^{-6}} = 1946.$$

Критерий Нуссельта равен:

$$Nu = c \cdot Re^m \cdot \left(\frac{D_н}{b}\right)^{-0{,}54} \left(\frac{h_р}{b}\right)^{-0{,}14} = 0{,}104 \cdot 1946^{0{,}72} \cdot \left(\frac{14}{4{,}5}\right)^{-0{,}54} \left(\frac{10{,}8}{4{,}5}\right)^{-0{,}14} = 12{,}25.$$

Коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha = \frac{N_u \cdot \lambda}{b} = \frac{12{,}25 \cdot 0{,}027}{0{,}0045} = 73{,}5 \text{ Вт/м}^2 \cdot °\text{C}.$$

Число ребер определяется по формуле

$$m_р = \frac{L_c}{b} = \frac{699}{4{,}5} = 155 \text{ ребер.}$$

Площадь теплоотдающей поверхности ТЭНа равна: $F_т = F_{ор} + F_{тр}$, а так как площадью $F_{тр}$ можно пренебречь, так как она обычно составляет не более 3…5% от $F_{ор}$, то $F_т \approx F_{ор}$.

Площадь оребрения будет равна:

$$F_{ор} = \left(\frac{\pi \cdot D_{ор}^2}{4} - \frac{\pi \cdot D_н^2}{4} \right) \cdot 2m_р = \left(\frac{3{,}14 \cdot 0{,}035^2 - 3{,}14 \cdot 0{,}014^2}{4} \right) \cdot 2 \cdot 155 = 0{,}251 \text{ м}^2.$$

Температура оребрения ТЭНа составит:

$$t_{ор} = \frac{P_н + \alpha \cdot F_{ор} \cdot t_в}{\alpha \cdot F_{ор}} = \frac{2200 + 73{,}5 \cdot 0{,}251 \cdot 15}{73{,}5 \cdot 0{,}251} = 134{,}2 \text{ °C}.$$

Удельная поверхностная мощность равна:

$$\Delta P = \frac{P_н}{F_{ор}} = \frac{2200}{0{,}251 \cdot 10^4} = 0{,}88 \text{ Вт/см}^2.$$

Температура оребрённой поверхности ТЭНа не превышает предельно допустимого значения – 200…250°С, хотя её и можно повысить за счет уменьшения площади оребрения $F_{ор}$.

Задача 4.8. Определить термическое сопротивление от спирали к наружной поверхности гладкого ТЭНа, геометрические параметры которого следующие: диаметр нагревательного провода $d_{пр}$ = 0,5 мм; средний диаметр витков спирали $D_{ср}$ = 5,0 мм; внутренний диаметр трубки ТЭНа $D_{вн}$ = 10,0 мм; наружный диаметр трубки ТЭНа $D_н$ = 13,0 мм; шаг витков h = 2,0 мм. Коэффициент теплопроводности материала наполнителя λ_1 = 1,5 Вт/(м·°С), материала трубки – λ_2 = 40 Вт/(м·°С).

Решение

Термическое сопротивление 1 м наполнителя, м·°С/Вт:

$$r_{ml1} = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_1} \cdot \left[\ln\left[\frac{D_{вн}}{D_{ср}} \right] + 10^{-3} \cdot \left(0{,}5 + 0{,}59 \frac{d_{пр}}{D_{ср}} \right) \cdot \left(\frac{h}{d_{пр}} - 1 - 6{,}56 \cdot \left(\frac{d_{пр}}{D_{вн}} \right)^{0{,}38} \right) \right] =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}5} \cdot \left[\ln\left[\frac{10}{5} \right] + 10^{-3} \cdot \left(0{,}5 + 0{,}59 \frac{0{,}5}{5{,}0} \right) \cdot \left(\frac{2{,}0}{0{,}5} - 1 - 6{,}56 \cdot \left(\frac{0{,}5}{10{,}0} \right)^{0{,}38} \right) \right] =$$

$$= 0{,}111 \text{ (м·°С)/Вт}.$$

Термическое сопротивление 1 м трубки, м·°С/Вт:

$$r_{ml2} = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_2} \cdot \ln\left[\frac{D_н}{D_{вн}}\right] = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 40} \cdot \ln\left[\frac{13{,}0}{10{,}0}\right] = 0{,}104 \cdot 10^{-2} \text{ (м·°С)/Вт.}$$

Общее термическое сопротивление стенки длиной 1 м, (м·°С/Вт):

$$r_{ml} = r_{ml1} + r_{ml2} = 0{,}111 + 0{,}104 \cdot 10^{-2} = 0{,}112 \text{ (м·°С)/Вт.}$$

Диаметр эквивалентного цилиндра, м:

$$D_э = e^{(\ln D_в - 2 \cdot \pi \cdot \lambda_1 \cdot r_{ml})} = e^{(\ln 10 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}5 \cdot 0{,}112)} = 3{,}5 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 3{,}5 \text{ мм.}$$

Удельное термическое сопротивление тепловому потоку с 1 м^2 поверхности проволоки, (м^2·°С)/Вт:

$$r_m = r_{ml} \cdot \pi \cdot D_э \cdot 10^{-3} = 0{,}112 \cdot 3{,}14 \cdot 3{,}5 \cdot 10^{-3} = 0{,}123 \cdot 10^{-2} \text{ (м}^2\text{·°С)/Вт.}$$

Задача 4.9. Рассмотреть варианты регулирования мощности электрического калорифера. Регулировать мощность электрической нагревательной установки можно, изменяя схему включения нагревателей. Номинальное напряжение нагревателя $U_{ном}$= 380 В; мощность одного нагревателя $P_{ном}$= 1000 Вт; температура окружающего воздуха t_o= 20°С. Анализ провести для симметричных и неполнофазных режимов работы трехфазной электротермической установки.

Решение

1) Рассмотрим схему соединения нагревательных элементов (ТЭНов) – «звезда».

а) При симметричном включении нагревателей по схеме «звезда», каждый нагреватель находится под фазным напряжением $U_ф$. Следовательно, нагреватели включены на напряжение равное

$$U_ф = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{В.}$$

Так как

$$P_1 = \frac{U_ф^2}{\mathrm{R_ф}} = \left(\frac{U_{ном}}{\sqrt{3}}\right)^2 \cdot \frac{1}{\mathrm{R_ф}} = \frac{U_{ном}^2}{3 \cdot \mathrm{R_ф}},$$

то мощность, выделяемая на нагревательном элементе, получается меньше в 3 раза, чем для схемы с подключением на линейное (номинальное) напряжение. Следовательно, полная мощность для схемы «звезда» равна:

$$P = \frac{P_{ном}}{3} \cdot n = \frac{1000}{3} \cdot 3 = 1000 \text{ Вт.}$$

б) При обрыве линейного или фазного провода в точке *«а»* (рис. 4.8) в работе оказываются только два нагревателя и включены они на половину линейного напряжения, следовательно, выделяемая ими мощность:

$$P = \frac{P_{ном}}{4} \cdot n = \frac{1000}{4} \cdot 2 = 500 \text{ Вт.}$$

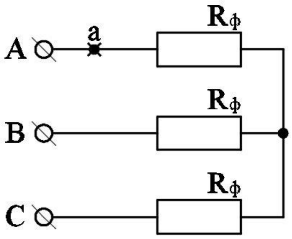


Рис. 4.8. Схема соединения электрических нагревателей (ТЭНов) в электрокалорифере «звезда»
(на схеме показана предполагаемая точка обрыва проводов «а»)

2) Рассмотрим схему соединения нагревательных элементов (ТЭНов) – «треугольник».

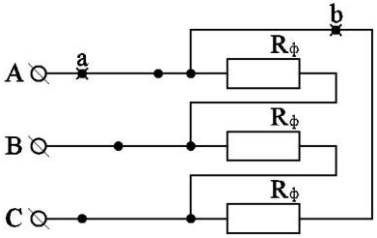


Рис. 4.9. Схема соединения электрических нагревателей (ТЭНов) в электрокалорифере «треугольник»
(на схеме показаны предполагаемые точки обрыва проводов «а» и «b»)

а) При данной схеме включения каждый нагреватель находится под номинальным напряжением, а значит, будет отдавать полную мощность. Данная схема содержит три нагревательных элемента и тогда:

$$P = P_{ном} \cdot n = 1000 \cdot 3 = 3000 \text{ Вт}.$$

б) При обрыве линейного провода в точке *«а»* (рис. 4.9) под напряжением остаются все три нагревательных элемента, но два из них только под напряжением равным половине номинального. Следовательно, мощность, выделяемая на одном элементе, будет равна:

$$P_1 = \frac{P_{ном}}{4} = \frac{1000}{4} = 250 \text{ Вт}.$$

Полная мощность электрического калорифера в рассматриваемом случае будет равна:

$$P = P_1 \cdot n_1 + n \cdot P_{ном} = 250 \cdot 2 + 1000 \cdot 1 = 1500 \text{ Вт},$$

где n_1 – количество нагревателей, находящихся не под номинальным напряжением, шт.; P_1 – мощность, отдаваемая нагревателем, находящимся не под номинальным напряжением, Вт.

в) При обрыве фазы в точке *«в»* (рис. 4.9) получаем, что один нагреватель не включен вообще, а остальные находятся под номинальным напряжением. Следовательно, в работе будет всего два нагревателя:

$$P = n \cdot P_{ном} = 1000 \cdot 2 = 2000 \text{ Вт}.$$

3) Рассмотрим схему соединения нагревательных элементов (ТЭНов) – «двойная звезда».

а) При симметричном включении нагревателей по схеме «звезда», каждый нагреватель находится под фазным напряжением $U_ф$. Следовательно, нагреватели включены на напряжение равное

$$U_ф = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}.$$

Так как

$$P_1 = \frac{U_ф^2}{\mathrm{R}_ф} = \left(\frac{U_{ном}}{\sqrt{3}}\right)^2 \cdot \frac{1}{\mathrm{R}_ф} = \frac{U_{ном}^2}{3 \cdot \mathrm{R}_ф} = \frac{P_{ном}}{3},$$

то мощность, выделяемая на нагревательном элементе, получается меньше в 3 раза, чем для варианта, когда нагреватель подключен на напряжение $U_{ном}=U_л$. Следовательно, полная мощность для этой схемы равна:

$$P = \frac{P_{ном}}{3} \cdot n = \frac{1000}{3} \cdot 6 = 2000 \text{ Вт}.$$

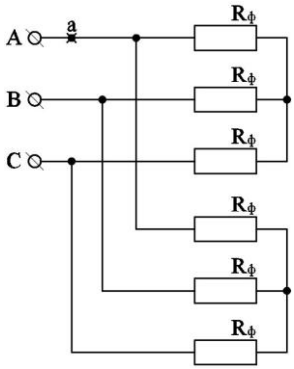


Рис. 4.10. Схема соединения электрических нагревателей (ТЭНов) в электрокалорифере «двойная звезда»
(на схеме показана предполагаемая точка обрыва проводов «а»)

б) При обрыве линейного или фазного провода в точке *«а»* (рис. 4.10) в работе оказываются только четыре нагревателя и включены они на половину линейного напряжения, следовательно, мощность, выделяемая ими, равна:

$$P = \frac{P_{ном}}{4} \cdot n = \frac{1000}{4} \cdot 4 = 1000 \text{ Вт.}$$

4) Рассмотрим схему соединения нагревательных элементов (ТЭНов) – «двойной треугольник».

а) Рассмотрим электрокалорифер как симметричную трехфазную нагрузку соединенную по схеме «двойной симметричный треугольник». При данной схеме включения каждый электрический нагреватель находится под номинальным напряжением, а значит будет отдавать полную мощность. Так как двойной треугольник содержит шесть нагревательных элементов, то общая мощность электрического калорифера равна:

$$P = 6 \cdot P_{ном} = 6 \cdot 1000 = 6000 \text{ Вт.}$$

б) При обрыве линейного провода в точке *«а»* (рис. 4.11) под напряжением остаются все шесть нагревательных элементов, но четыре из них только под напряжением, равным половине номинального. Следовательно, мощность, выделяемая на одном элементе, получается равна:

$$P_1 = \frac{P_{ном}}{4} = \frac{1000}{4} = 250 \text{ Вт.}$$

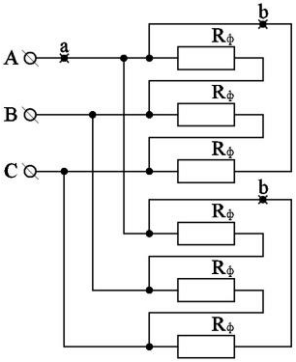


Рис. 4.11. Схема соединения электрических нагревателей (ТЭНов) в электрокалорифере «двойной треугольник»
(на схеме показаны предполагаемые точки обрыва проводов «a» и «b»)

Полная мощность электрического калорифера в рассматриваемом случае будет равна:

$$P = P_1 \cdot n_1 + n \cdot P_{ном} = 250 \cdot 4 + 1000 \cdot 2 = 3000 \text{ Вт},$$

где n_1 – количество нагревателей, находящихся не под номинальным напряжением, шт.; P_1 – мощность, отдаваемая нагревателем, находящимся не под номинальным напряжением, Вт.

в) При обрыве фазы в точках «*b*» (рис. 4.11) получаем, что два нагревателя не включены вообще, а остальные находятся под номинальным напряжением. Следовательно, всего в работе будет четыре нагревателя, тогда полная мощность электрического калорифера в рассматриваемом случае будет равна:

$$P = P_{ном} \cdot n = 1000 \cdot 4 = 4000 \text{ Вт}.$$

5) Рассмотрим схему соединения нагревательных элементов (ТЭНов) – «последовательная звезда».

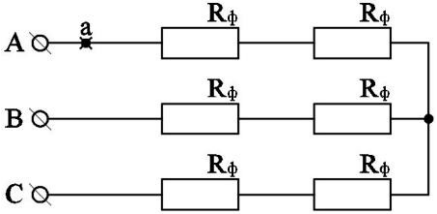


Рис. 4.12. Схема соединения электрических нагревателей (ТЭНов) в электрокалорифере «последовательная звезда»
(на схеме показана предполагаемая точка обрыва проводов «a»)

а) При включении нагревателей по такой схеме каждый нагреватель находится под напряжением равным половине $U_ф$, а следовательно, мощность на каждом нагревателе уменьшается в $\frac{P_{ном}}{12}$ раза. Полная мощность нагревателя, включенного по такой схеме, можно вычислить по формуле

$$P = \frac{P_{ном}}{12} \cdot n = \frac{1000}{12} \cdot 6 = 500 \text{ Вт.}$$

б) При обрыве линейного или фазного провода в точке *«а»* (рис. 4.12) в работе оказываются только четыре нагревателя и включены они на четверть линейного напряжения, согласно зависимости мощности, выделяемой на нагревательном элементе, от подводимого напряжения получаем:

$$P = \frac{P_{ном}}{16} \cdot n = \frac{1000}{16} \cdot 4 = 250 \text{ Вт.}$$

6) Рассмотрим схему соединения нагревательных элементов (ТЭНов) – «последовательный треугольник».

а) При включении нагревателей по такой схеме каждый нагреватель находится под напряжением равным половине номинального, а следовательно, мощность на каждом нагревателе уменьшается в четыре раза. Полная мощность нагревателя, включенного по такой схеме равна:

$$P = \frac{P_{ном}}{4} \cdot n = \frac{1000}{4} \cdot 6 = 1500 \text{ Вт.}$$

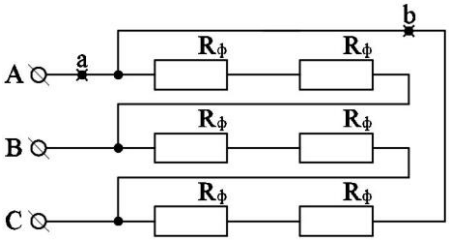


Рис. 4.13. Схема соединения электрических нагревателей (ТЭНов) в электрокалорифере «последовательный треугольник»
(на схеме показаны предполагаемые точки обрыва проводов «а» и «b»)

б) При обрыве линейного провода в точке *«а»* (рис. 4.13) получается, что четыре нагревателя включены на четвертую часть

номинального напряжения, а два – на половину. Мощность, отдаваемая в этом случае, вычисляется по формуле

$$P = \frac{P_{ном}}{16} \cdot n + \frac{P_{ном}}{4} \cdot n = \frac{1000}{16} \cdot 4 + \frac{P_{ном}}{4} \cdot 2 = 750 \text{ Вт}.$$

в) При обрыве фазы в точке *«в»* (рис. 4.13) два нагревателя не участвуют в работе, а следовательно, в работе участвуют только четыре нагревателя включенных на половинное напряжение. Полная мощность в этом случае равна:

$$P = \frac{P_{ном}}{4} \cdot n = \frac{1000}{4} \cdot 4 = 1000 \text{ Вт}.$$

Для сравнения все полученные результаты расчетов по определению мощности электротермической установки при различных схемах включения нагревательных элементов и режимов работы сведем в таблицу 4.5.

Таблица 4.5

Сводная таблица выполненных расчетов по определению мощности электротермической установки при различных схемах включения нагревательных элементов и режимов работы

Схема включения нагревателей	Симметричная трехфазная нагрузка		Обрыв линейного провода		Обрыв фазы	
	кол-во нагревателей в работе	P, кВт	кол-во нагревателей в работе	P, кВт	кол-во нагревателей в работе	P, кВт
Двойной треугольник	6	6,0	6	3,0	4	4,0
Звезда	3	1,0	2	0,5	2	0,5
Треугольник	3	3,0	3	1,5	2	2,0
Двойная звезда	6	2,0	4	1,0	4	1,0
Последовательный треугольник	6	1,5	6	0,75	4	1,0
Последовательная звезда	6	0,5	4	0,25	4	0,25

Контрольные задания

1. Рассчитать электрокалориферную установку с вентилятором для сушки одежды в неотапливаемом помещении, t_o = 8°С – температура воздуха в помещении. Температура воздуха, выходящего из калорифера, должка быть равна $t_{вых}$= 60°С. Подача вентилятора L = 0,09 м^3/с. Провод нихромовый марки Х20Н80. Объёмная теплоемкость воздуха

c = 1,3 кДж/(м^3·°С). Номинальное напряжение нагревателя $U_н$ = 220 В. Установка однофазная.

2. Рассчитать электрический нагреватель из нихромового провода для подогрева воздуха, поступающего в комнату через форточку, с тем, чтобы этот воздух имел комнатную температуру $t_{вн}$ = 24°С при наружной температуре $t_{нар}$ = –12°С. Кратность воздухообмена $k_в$ = 2 ч$^{-1}$ при объеме комнаты V = 40 м^3. Нагреватель однофазный, напряжение сети U = 220 В. Расчёт вести по таблицам нагрузок. Рабочая температура нагревателя $t_{раб}$ = 600°С. Коэффициенты монтажа и среды $k_м$ = 0,5; $k_с$ = 1,6.

3. Рассчитать электрический сушильный шкаф мощностью $P_н$=2,4 кВт, на напряжение $U_н$ = 220 В. Требуемая температура нагрева воздуха $t_в$=140°С. Коэффициент теплоотдачи с поверхности α зависит от скорости движения воздуха $\alpha=\alpha_{ст}(\upsilon/\upsilon_{ст})$, где υ – скорость движения воздуха, м/с; $\alpha_{ст}$=1500 Вт/(м^2·°С) – коэффициент теплоотдачи при стандартной скорости $\upsilon_{ст}$= 6 м/с, $t_р$= 700°С – рабочая температура нагревателя. Расчет выполнить аналитическим методом. Допустимая температура нагрева для материала нагревательного элемента $t_{доп}$=1200°С; материал – нихром Х20Н80. Нагреватель трехфазный.

4. Рассчитать нагревательное устройство для предотвращения замерзания водопровода, установленного на открытой площадке, при температуре наружного воздуха $t_{нар}$ = –25°С. Нагреватель должен быть выполнен из нагревательного провода в виде однослойной бифилярной обмотки, наматываемой на трубу в зоне промерзания, длиной l = 1,5 м и с защитой слоями тепло- и гидроизоляции, а также кожухом из жести для защиты от механических повреждений. Диаметр теплоотдающей поверхности $D = 3{\cdot}d$, где d = 0,08 м – диаметр трубы. Коэффициент теплоотдачи α = 12 Вт/(м^2·°С). Температура воды в трубе t = 6°С. Как изменится мощность и другие параметры, если обмотка будет выполнена не бифилярной? Напряжение питания устройства U = 220 В. Для расчета использовать нагревательный провод типа ПОСХВ.

5. Выбрать трубчатые нагреватели для элементного водоподогревателя, который обеспечивает теплой и горячей водой технологические нужды молочной фермы. Объем бака V = 200 л. Продолжительность нагрева τ = 4 ч. Нагрузка должна быть равномерно распределена по фазам. Проверить возможность размещения выбранных нагревателей в объеме бака. Питающее напряжение сети 380/220 В.

6. Определить основные электротехнические параметры оребренного ТЭНа и выполнить его теплотехнический расчет при следующих условиях: напряжение питания 380 В, мощность 2,5 кВт, скорость воздуха при обтекании оребренной поверхности 8 м/с. Расположение ТЭНов коридорное. Температура воздуха, обдувающего ТЭН, составляет плюс 12°С.

7. В электронагревательной установке имеется шесть нагревательных элементов сопротивления. Мощность каждого нагревателя P_1=1 кВт, ко-

торые подключаются на напряжение 220 В. Определить, какую мощность будет потреблять установка при соединении нагревателей в «последовательную» и «параллельную звезду», «последовательный» и «параллельный треугольник». Напряжение сети 380/220 В.

8. Выбрать ТЭНы для подогрева от 10 до 30°С молока перед выпойкой телят объемом V = 100 л за τ = 30 мин. Допустимая удельная поверхностная мощность ТЭНов для подогрева молока 2 Вт/см^2.

9. Определить термическое сопротивление от спирали к наружной поверхности гладкого ТЭНа, геометрические параметры которого следующие: диаметр нагревательного провода $d_{пр}$ = 0,75 мм; средний диаметр витков спирали $D_{ср}$ = 5,0 мм; внутренний диаметр трубки ТЭНа $D_{вн}$ = 13,0 мм; наружный диаметр трубки ТЭНа $D_{н}$=15,0 мм; шаг витков h = 2,5 мм. Коэффициент теплопроводности материала наполнителя λ_1 = 1,5 Вт/(м·°С), материала трубки – λ_2 = 30 Вт/(м·°С).

Контрольные вопросы

1. Поясните устройство ТЭНа.
2. Какие материалы применяются для изготовления спиралей нагревателей?
3. Перечислите требования, предъявляемые к материалам для нагревателей.
4. Дайте понятие расчетной и действительной температур.
5. Что такое коэффициенты монтажа и среды, каков их физический смысл?
6. Назначение оребрения ТЭНов.
7. Требования к температурному режиму поверхности оребрения.
8. Что такое коэффициент теплоотдачи поверхности ТЭНа?
9. Как расчетным путем определить температуру поверхности ТЭНов?
10. Способы регулирования мощности элементных нагревательных устройств.
11. Как влияет питающее напряжение на мощность ТЭНа?
12. Какой материал используют для наполнения ТЭНов, назовите требования, предъявляемые к наполнителям?

5. Расчет вентиляции и отопления в животноводческих и птицеводческих помещениях

5.1. Общие положения и сведения из теории вентиляции и отопления в животноводческих и птицеводческих помещениях

Микроклимат закрытых помещений, прежде всего, характеризуется совокупностью основных физических и химических факторов их воздушной среды, которые комплексно воздействуют на живые организмы. Наибольшее влияние на жизнедеятельность человека и животных оказывают такие факторы как температурно-влажностный режим, скорость движения и состав воздуха, а также освещенность и степень ионизации воздуха.

Воздухообмен в животноводческих помещениях может осуществляться как с помощью естественной, так и принудительной вентиляции.

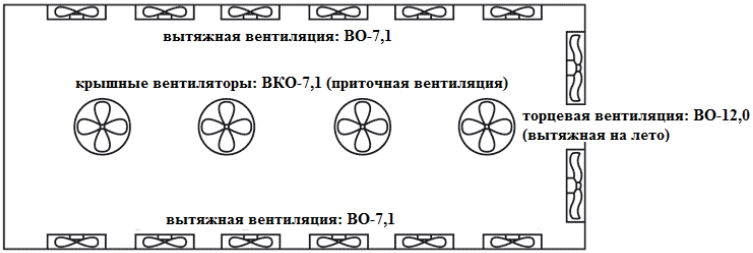
Естественная вентиляция осуществляется за счет разности давления наружного воздуха и воздуха внутри помещения, а также энергии ветровых потоков. Простейшей системой естественной вентиляции является шахтная вентиляция. Она работает по принципу удаления воздуха из верхней зоны производственных сооружений через утепленные шахты, заделанные в чердачные перекрытия, и одновременной подачи свежего воздуха через подоконные или надоконные щели.

Удаление загрязненного выделениями животных и птицы внутреннего воздуха с помощью естественной вентиляции в большинстве случаев не позволяет обеспечить требуемый по зоотехническим нормам газовый состав воздуха внутри животноводческих помещений, поэтому применяют принудительную вентиляцию.

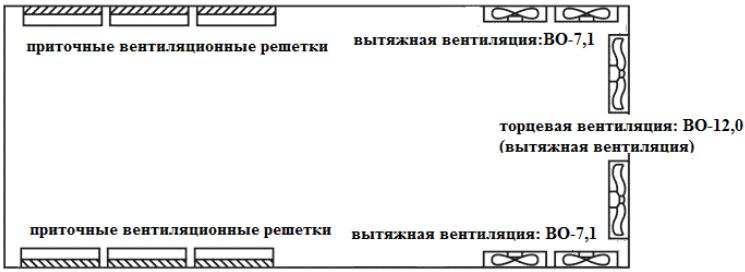
Принудительные системы вентиляции подразделяют на вытяжные, приточные и приточно-вытяжные, которые технически реализуется при помощи вентиляторов.

Вытяжные системы вентиляции оборудуются вытяжными вентиляторами на одной стороне помещения и воздухозаборными проемами с другой стороны или под крышей.

а



б



в

Рис. 5.1. Схемы организации систем вентиляции в птичниках:
а – типовая схема вентиляции; б – схема вентиляции с увеличенным воздухообменом; в – схема туннельной вентиляции

Приточная принудительная вентиляция, как правило, осуществляется при помощи центробежных вентиляторов. Удаление

загрязненного воздуха осуществляется чаще всего через специально устраиваемые для этой цели проемы и отверстия – в местах наибольшей концентрации вредных примесей, в частности, в верхней зоне помещений (шахты, фонари, щели). Причем, при расчете предусматривают превышение притока воздуха над оттоком в размерах 10-20% для того, чтобы создаваемый таким образом подпор воздуха предохранял помещение от проникновения инородных частиц и болезнетворных микроорганизмов из соседних помещений. Особенно ответственно такие меры безопасности необходимо предусматривать в помещениях для телят, супоросных маток с поросятами-сосунами и для поросят-отъемышей.

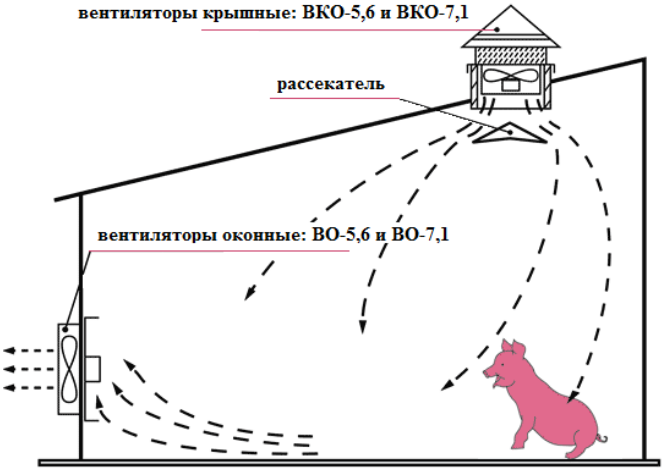


Рис. 5.2. Принцип организации системы вентиляции свинарника, позволяющий обеспечить качественный воздухообмен, при котором вредные вещества, содержащиеся в воздухе, удаляются достаточно быстро, а свежий воздух регулярно поступает в помещение

Приточные системы вентиляции, по сравнению с вытяжными, имеют целый ряд преимуществ:

1) поступающий воздух более равномерно распределяется по внутреннему объему помещения;

2) исключается влияние ветра;

3) поступающий воздух может быть предварительно прогрет, очищен от пыли, обеззаражен и т.д.

5.2. Расчет системы вентиляции помещения для содержания животных или птицы

Расчет объема приточного воздуха $L_{расч}$, м^3/ч, определяется из условия растворения углекислоты до допустимой концентрации и предельно допустимого содержания водяных паров. В этом случае происходит удаление и других вредных примесей (аммиак, сероводород, пыль), выделяющихся в помещениях в значительно меньших количествах.

Количество приточного воздуха L_{co2}, м^3/ч, необходимого для понижения концентрации углекислоты, вычисляется по формуле

$$L_{co_2} = \frac{\sum_{i=1}^{k} c_i \cdot n_i}{c_1 - c_2}, \qquad (5.1)$$

где c_i – количество CO_2, выделяемое одним животным или птицей данного вида, л/ч (табл. П. 11); n_i – количество животных данного вида в помещении; k – число видов животных; c_1 – предельно допустимая концентрация CO_2 в воздухе помещения, л/м^3 (табл. П. 13); c_2 – концентрация CO_2 в наружном воздухе (c_2=0,3…0,4 л/м^3).

Количество приточного воздуха L_W, м^3/ч, необходимого для растворения водяных паров, определяется по формуле

$$L_W = \frac{W}{(d_{вн} - d_н) \cdot \delta}, \qquad (5.2)$$

где W – суммарные влаговыделения в помещении, г/ч; $d_{вн}$ – влагосодержание воздуха в помещения, г/кг; $d_н$ – влагосодержание наружного воздуха, г/кг; δ – плотность воздуха при температуре помещения, кг/м^3 (табл. П. 16).

Значения $d_в$ *и* $d_н$ определяются по i-d диаграмме для влажного воздуха с учетом относительной влажности наружного воздуха $\varphi_н$=85-90% и внутри помещения. Поскольку при низких отрицательных температурах $d_н$ по i-d диаграмме определить затруднительно, то можно пользоваться для определения L_W следующей формулой

$$L_W = \frac{W}{d_{вн} \cdot \delta_{вн} \cdot \varphi_{вн} - d_н \cdot \delta_н \cdot \varphi_н}, \qquad (5.3)$$

где $\delta_{вн}$, $\delta_{н}$ – соответственно плотность внутреннего и наружного воздуха при соответствующей температуре; $\varphi_{вн}$, $\varphi_{н}$ – соответственно относительная влажность внутреннего и наружного воздуха.

Влагосодержание воздуха d и его плотность δ можно определить по таблице П. 16.

Общее выделение влаги в помещении для животных подсчитывается по формуле

$$W = \xi \sum_{i=1}^{k} w_i \cdot n_i, \qquad (5.4)$$

где w_i – выделение влаги одним животным данного вида, г/ч (табл. П. 11); n_i – количество животных данного вида в помещении; ξ – коэффициент, учитывающий испарение влаги с мокрых поверхностей помещения (для коровников и телятников ξ=1,07...1,25; для свинарников ξ=1,09...1,3; большие значения ξ относятся к помещениям с недостаточным количеством или полным отсутствием подстилки при неудовлетворительной работе канализации).

Если температура внутри помещения отличается от табличной (табл. П. 11), то при определении w_i необходимо ввести поправочный коэффициент (табл. П. 12).

Влаговыделение в птичнике:

$$W = W_{пт} + W_{пом}, \qquad (5.5)$$

где $W_{пт}$ – количество водяных паров, выделяемых птицами; $W_{пом}$ – количество влаги, испаряющейся из помета.

Количество водяных паров и влаги определяется по нижеприведенным формулам:

$$W_{пт} = \sum_{i=1}^{k} w_i \cdot n_i, \qquad (5.6)$$

$$W_{пом} = \frac{0{,}7 \sum P_{пом} \cdot n_i}{24}, \qquad (5.7)$$

где w_i – выделение влаги одной птицей данного вида, г/ч; (табл. П. 13) с учетом внутренней температуры и массы птицы; n_i – количество птиц данного вида в помещении; $P_{пом}$ – среднесуточный выход помета от одной птицы (см. табл. Приложение 15); *0,7*– коэффициент, учитывающий усушку помета.

Если температура внутри помещения отличается от табличной (табл. П. 13), то при определении w_i необходимо ввести поправочный коэффициент (табл. П. 14).

Необходимый воздухообмен $L_{расч}$, м^3/ч, принимается по наибольшей из двух величин L_{co2} или L_W.

Правильность расчета проверяют по кратности воздухообмена:

$$k_в = \frac{L_{расч}}{V_n}, \tag{5.8}$$

где V_n – внутренний объем помещения, м^3.

В животноводческих фермах для холодного периода года значение кратности воздухообмена равно $k_в = 3…6$ ч$^{-1}$, а в птичниках $k_в = 9…13$ ч$^{-1}$.

Площадь сечения F, м^2, всех вытяжных шахт при естественной тяге определяется по формуле

$$F = \frac{L_{расч}}{3600 \cdot \upsilon}, \tag{5.9}$$

где υ – скорость движения воздуха в вытяжной шахте помещения, м/с.

Скорость воздуха определяется как

$$\upsilon = 2{,}2\sqrt{\frac{h \cdot (t_{вн} - t_н)}{273}}, \tag{5.10}$$

где h – высота вытяжной шахты, м, $h = 2…10$ м; $t_{вн}$ – расчетная температура внутри помещения, °С; $t_н$ – расчетная температура наружного воздуха, °С.

Число вытяжных шахт:

$$n_{в.ш} = \frac{F}{f}, \tag{5.11}$$

где f – живое сечение одной шахты, м^2 (в типовых проектах животноводческих помещений обычно принимаются вытяжные шахты квадратного сечения со стороной квадрата 400, 500, 600, 700 мм или прямоугольного сечения).

Подача вентилятора $L_в$ (м^3/ч) принимается по значению расчетного воздухообмена с учетом поправочного коэффициента на подсос воздуха в воздуховодах: при стальных, пластмассовых и асбоцементных воздухопроводах длиной 50 м – 1,1; в остальных случаях – 1,15:

$$\mathrm{L_в} = (1{,}1...1{,}15) \cdot \mathrm{L_{расч}}. \tag{5.12}$$

Число вентиляторов определяется из условия, что подача одного вентилятора, во избежание повышенного уровня шума, не

должна превышать 8000 м^3/ч, а также с учетом предпочтительной схемы отопления и вентиляции.

5.3. Расчет системы отопления помещения для содержания животных или птицы

Микроклимат в животноводческом помещении зависит от его теплоизоляции, воздухообмена, температуры наружного воздуха и количества теплоты, выделяемой животными. В тех случаях, когда в зимнее время тепловые потери через ограждения и вентиляцию не компенсируются тепловыделениями животных или птиц, помещения необходимо оборудовать системами отопления.

Необходимый для отопления животноводческих помещений тепловой поток $Ф_{от}$, Вт, можно определить на основании уравнения теплового баланса:

$$Ф_{от} = Ф_{огр} + Ф_{в} + Ф_{сп} + Ф_{доп} - Ф_{ж} - Ф_{э}, \qquad (5.13)$$

где $Ф_{огр}$ – тепловой поток через ограждение, Вт; $Ф_{в}$ – потери теплоты на вентиляцию, Вт; $Ф_{сп}$ – случайные потери теплоты, обычно принимаются в пределах 10…15% от $Ф_{огр} + Ф_{в}$, Вт; $Ф_{доп}$ – дополнительные потери теплоты в зависимости от ориентации стен к сторонам света, как правило, дополнительные потери принимают в пределах 10…15% от половины потерь через стены, окна, двери, Вт; $Ф_{ж}$ – поток свободной теплоты, выделяемой животными или птицей, Вт; $Ф_{э}$ – тепловые потоки от средств местного электрообогрева, двигателей электроприводов и электрических ламп, Вт.

Тепловые потери через все наружные ограждения $Ф_{огр}$, Вт, определяются по формуле

$$Ф_{огр} = \frac{1}{R_{то}} F \cdot (t_{вн} - t_{н}) \cdot n, \qquad (5.14)$$

где $R_{то}$ – сопротивление теплопередаче ограждения, (м^2·°С)/Вт; F – площадь поверхности ограждения, м^2; $t_{вн}$, $t_{нар}$ – расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха соответственно, °С; n – поправочный коэффициент (для наружных стен и полов на грунте n = 1; для чердачных перекрытий с различными видами кровли n = 0,75…0,9; для ограждений, отделяющих отапливаемые помещения от неотапливаемых n = 0,4…0,7; для перекрытий над подпольями n = 0,4…0,75).

Сопротивление m-слойного ограждения теплопередаче $R_{то}$, (м·°С)/Вт, равно:

$$R_{то} = R_{твн} + \sum_{i=1}^{m} \frac{\Delta_i}{\lambda_i} + R_{тн}, \qquad (5.15)$$

где $R_{твн}$ – термическое сопротивление тепловосприятию внутренней поверхности ограждения, (м^2·°С)/Вт (табл. П. 17); Δ_i – толщина i-го слоя ограждения, м; λ_i – коэффициент теплопроводности i-го слоя ограждения, Вт/(м·°С) (табл. П. 1); $R_{тн}$ – термическое сопротивление теплопередаче наружной поверхности ограждения, (м^2·°С)/Вт (табл. П. 18).

Виды и конструкции ограждений определяются по паспорту проекта помещений.

Потери теплоты через неутепленные полы определяют по зонам шириной 2 м, параллельным наружным стенам. Сопротивление теплопередаче неутепленных полов $R_{тнп}$ для первой зоны, расположенной непосредственно у стены, составляет 2,15; для второй – 4,3; для третьей – 8,6; для остальной площади пола – 14,2 (м^2·°С)/Вт. Для утепленных полов сопротивление теплопередаче $R_{туп}$, (м·°С)/Вт, определяется по формуле

$$R_{туп} = R_{тнп} + \frac{\Delta_{ус}}{\lambda_{ус}} + \sum_{i=1}^{k} \frac{\Delta_i}{\lambda_i}, \qquad (5.16)$$

где $\Delta_{ус}$ – толщина утепляющего слоя, м; $\lambda_{ус}$ – коэффициент теплопроводности утепляющего слоя, Вт/(м·°С); d_i, Δ_i – толщина и коэффициент теплопроводности остальных слоев пола, м и Вт/(м·°С).

В том случае, когда коэффициенты теплопроводности материалов, из которых состоят полы, $\lambda \geq 1{,}16$ Вт/(м·°С), то полы на грунте считаются неутепленными.

Кроме того, необходимо учитывать дополнительные потери теплоты через строительные ограждения, которые определяются ориентацией здания по отношению к сторонам света, господствующими направлениями ветра и т.д. Стенам, обращенным на север, восток, северо-восток и северо-запад, присущи дополнительные потери теплоты в размере 10%, а обращенным на юго-восток и запад, в размере 5% от основных теплопотерь. Для зданий, построенных на возвышенности, открыто делают 10% надбавку на теплопотери через все ограждения.

Тепловой поток $Ф_в$, Вт, необходимый для подогрева приточного воздуха, равен:

$$\Phi_в = \frac{L_{расч} \cdot \delta \cdot c \cdot (t_{вн} - t_н)}{3600}, \quad (5.17)$$

где $L_{расч}$ – расчетный воздухообмен помещения, м^3/ч; δ – плотность наружного воздуха при соответствующей температуре, кг/м^3; c – теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·°С).

Поток свободной теплоты $\Phi_ж$, Вт, выделяемой животными:

$$\Phi_ж = \sum_{i=1}^{k} q_i \cdot n_i, \quad (5.18)$$

где q_i – тепловой поток, выделяемый одним животным данного вида, Вт (табл. П. 11); n_i – количество животных данного вида в помещении.

Если температура, при которой содержатся животные, отличается от температуры, при которой осуществлялись замеры выделений животными, то необходимо вносить поправочный коэффициент (табл. П. 12).

Для птицеводческого помещения тепловую производительность системы отопления $\Phi_{от}$, Вт, определяют из уравнения теплового баланса:

$$\Phi_{от} = \Phi_{огр} + \Phi_в + \Phi_{сп} + \Phi_{доп} + \Phi_{пом} - \Phi_{пт} - \Phi_э, \quad (5.19)$$

где $\Phi_{пом}$ – тепловой поток на испарение влаги из помета, Вт.

Тепловой поток на испарение влаги из помета $\Phi_{пом}$, Вт, определяется по формуле

$$\Phi_{пом} = 0{,}276 \cdot 2{,}49 \cdot W_{пом} = 0{,}692 \cdot W_{пом}, \quad (5.20)$$

где $W_{пом}$ – количество влаги, испаряющейся из помета, г/ч; 2,49 – скрытая теплота испарения воды, кДж/г.

Поток свободной теплоты $\Phi_{пт}$, Вт, выделяемой птицами:

$$\Phi_{пт} = 0{,}6 \sum_{i=1}^{k} q_i \cdot n_i, \quad (5.21)$$

где q_i – тепловой поток, выделяемый одной птицей данного вида (табл. П. 13), Вт; 0,6 – коэффициент, учитывающий тепловыделение от птиц в ночное время.

Если температура, при которой содержится птица, отличается от табличной (табл. П. 13), то необходимо ввести поправочный коэффициент (табл. П. 14). Необходимо обратить внимание на то, что в таблице П. 13 приводятся данные о выделении теплоты, углекислоты и водяных паров не на одну голову, а на 1 кг живой массы птицы и указывается масса птицы.

5.4. Расчет электрокалориферной установки

5.4.1. Тепловой расчет нагревательных элементов

В качестве нагревательных элементов в электрических калориферах используют трубчатые электронагреватели (ТЭНы), смонтированные в единый конструктивный блок.

В задачу теплового расчёта блока ТЭНов входит определение количества ТЭНов в блоке и действительной температуры поверхности нагревательного элемента. Результаты теплового расчёта используют для уточнения конструктивных параметров блока.

Мощность одного ТЭНа определяют исходя из мощности калорифера $P_{эку}$ и числа ТЭНов z, установленных в калорифере:

$$P_m = \frac{P_{эку}}{z}. \qquad (5.22)$$

Число ТЭНов z принимают кратным 3, причем мощность одного ТЭНа не должна превышать 3…4 кВт. ТЭН подбирают по паспортным данным (табл. П. 8).

По конструктивному исполнению различают блоки с коридорной и шахматной компоновкой ТЭНов (рис. 5.3).

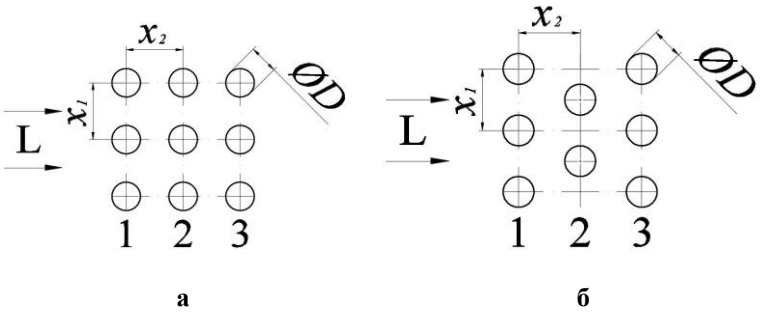


Рис. 5.3. Схемы компоновки блока ТЭНов:
а – коридорная компоновка; б – шахматная компоновка

Для первого ряда нагревателей скомпонованного нагревательного блока должно выполняться условие:

$$t_m^1 = \frac{P_m^1}{0{,}6 \cdot \alpha_{ср} \cdot F_m^1} + t_в < 180°\text{C}, \qquad (5.23)$$

где t_m^1 – действительная средняя температура поверхности нагревателей первого ряда, °С; P_m^1 – суммарная мощность нагревателей первого ряда, Вт; $\alpha_{ср}$ – средний коэффициент теплоотдачи, Вт/(м^2·°С); F_m^1 – суммарная площадь теплоотдающей поверхности нагревателей первого ряда, м^2; $t_в$ – температура воздушного потока после калорифера, °С.

Суммарную мощность и суммарную площадь нагревателей первого ряда определяют из параметров выбранных ТЭНов по формулам:

$$P_m^1 = kP_m,\ F_m^1 = kF_m, \tag{5.24}$$

где k – количество ТЭНов в ряду, шт; P_m, F_m – соответственно мощность, Вт, и площадь поверхности, м^2, одного ТЭНа.

Площадь поверхности оребренного ТЭНа, м^2:

$$F_m = \pi \cdot l_a \cdot \left(D_н + \frac{h_p \cdot (D_н + h_p)}{b} \right), \tag{5.25}$$

где $D_н$ – диаметр ТЭНа, м; l_a – активная длина ТЭНа, м; h_p – высота ребра, м; b – шаг оребрения, м.

Для пучков поперечно обтекаемых труб следует учитывать средний коэффициент теплоотдачи $\alpha_{ср}$, так как условия передачи теплоты отдельными рядами нагревателей различны и определяются турбулизацией воздушного потока. Теплоотдача первого и второго рядов трубок по сравнению с третьим рядом меньше. Так, если теплоотдачу третьего ряда ТЭНов принять за единицу, то теплоотдача первого ряда составит около 0,6, второго – около 0,7 в шахматных пучках и около 0,9 – в коридорных от теплоотдачи третьего ряда. Для всех рядов после третьего коэффициент теплоотдачи можно считать неизменным и равным теплоотдаче третьего ряда.

Коэффициент теплоотдачи ТЭНа определяют по эмпирическому выражению, Вт/(м^2·°С):

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{D}, \tag{5.26}$$

где Nu – критерий Нуссельта; λ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·°С), λ= 0,027 Вт/(м·°С); D – диаметр ТЭНа, м.

Критерий Нуссельта для конкретных условий теплообмена рассчитывают по выражениям:

1) для коридорных пучков труб:

– при Re ≤ 1·10^3

$$Nu = 0{,}49\mathrm{Re}^{0,5}, \quad (5.27)$$

– при $\mathrm{Re} > 1 \cdot 10^3$

$$Nu = 0{,}149\mathrm{Re}^{0,65}, \quad (5.28)$$

2) для шахматных пучков труб:

– при $\mathrm{Re} \le 1 \cdot 10^3$

$$Nu = 0{,}49\mathrm{Re}^{0,5}, \quad (5.29)$$

– при $\mathrm{Re} > 1 \cdot 10^3$

$$Nu = 0{,}35\mathrm{Re}^{0,6}, \quad (5.30)$$

где *Re* – критерий Рейнольдса.

Критерий Рейнольдса характеризует режим обтекания ТЭНов воздушным потоком и равен:

$$\mathrm{Re} = \frac{\upsilon \cdot d}{\nu}, \quad (5.31)$$

где υ – скорость воздушного потока, м/с; ν – коэффициент кинематической вязкости воздуха, м^2/с, $\nu = 18{,}5 \cdot 10^{-6}$ м^2/с.

Для обеспечения эффективной термической нагрузки ТЭНов, не приводящей к перегреву нагревателей, следует обеспечивать в зоне теплообмена движение потока воздуха со скоростью не менее 6 м/с. Учитывая возрастание аэродинамического сопротивления конструкции воздушного канала и нагревательного блока с ростом скорости потока воздуха, последнюю следует ограничить значением 15 м/с.

Средний коэффициент теплоотдачи:

1) для коридорных пучков:

$$\alpha_{ср} = \frac{\alpha \cdot (n - 0{,}5)}{n}, \quad (5.32)$$

2) для шахматных пучков:

$$\alpha_{ср} = \frac{\alpha \cdot (n - 0{,}7)}{n}, \quad (5.33)$$

где n – количество рядов труб (ТЭНов) в пучке нагревательного блока.

Температура воздушного потока $t_в$ после калорифера равна, °С:

$$t_в = \frac{P_{эку}}{\delta \cdot c \cdot L_в}, \quad (5.34)$$

где $P_{эку}$ – суммарная мощность ТЭНов калорифера, кВт; δ – плотность воздуха, кг/м^3; c – удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°С), c = 1 кДж/(кг·°С); $L_в$ – производительность калорифера, м^3/с.

Если условие (5.23) не выполняется, выбирают другой нагревательный элемент или изменяют принятые в расчете скорость воздуха, компоновку нагревательного блока.

5.4.2. Конструктивный расчет нагревательного блока

В расчет конструктивных параметров блока ТЭНов входит определение расстояний между нагревателями в ряду x_1 и расстояний между рядами x_2 (рис. 5.1), а также внешних размеров блока. При расчете конструктивных элементов следует учитывать принятую ранее скорость воздушного потока, количество нагревателей в ряду, количество рядов, расположение нагревателей и производительность вентилятора $L_в$.

Для расчета x_1, определяют «живое» сечение блока нагревателей, т. е. не занятую ТЭНами площадь воздушного канала $F_к$, м^2:

$$F_к = \frac{L_в}{\upsilon}, \tag{5.35}$$

где $L_в$ – производительность калорифера, м^3/с; υ – принятая в тепловом расчете скорость воздуха, м/с.

Минимальные размеры нагревательного блока определяют по следующим выражениям:

1) расстояние между нагревателями в ряду x_1, м:

$$x_1 = \frac{F_к}{(k+1)\cdot l_a} + D, \tag{5.36}$$

где k – количество ТЭНов в ряду;

2) расстояние между рядами нагревателей x_2, м:

при

$$x_1 \geq 3/2D \quad x_2 = x_1, \tag{5.37}$$

при

$$x_1 < 3/2D \quad x_2 = 1{,}2\, x_1,$$

где D – диаметр выбранного ТЭНа (ТЭНа с оребрением), м;

3) высота H и ширина B блока нагревателей, м:

$$H = (k+1)\cdot x_1, \tag{5.38}$$

$$B_н = l + 0{,}1, \tag{5.39}$$

где l – полная длина ТЭНа, м;

4) глубина блока нагревателей $C_н$, м:

$$C_н = (n+1)x_2. \quad (5.40)$$

По результатам расчета нагревательного блока рекомендуется выполнить эскиз блока с указанием расчетных параметров нагревательного элемента.

Примеры решения задач

Задача 5.1. На свиноферме находится n = 50 кабанов, свиней в три раза больше. Определить мощность системы отопления, если известно, что поток тепла, выделяемый одним животным, $Ф_1$ = 10 Вт; тепловой поток потерь через ограждения $Ф_{огр}$= 800 Вт; тепловой поток потерь с вентиляцией $Ф_в$ = 2000 Вт; тепловой поток потерь на испарение влаги с различных поверхностей $Ф_и$ = 1250 Вт. Коэффициент полезного действия, учитывающий потери теплоты в системе отопления $\eta_т$= 0,95.

Решение

Общее поголовье кабанов и свиней на ферме:

$$N = n + 3 \cdot n = 50 + 3 \cdot 50 = 200.$$

Тепловой поток, выделяемый животными:

$$Ф_ж = N \cdot Ф_1 = 200 \cdot 10 = 2000 \text{Вт}.$$

Тепловой поток системы электроотопления:

$$Ф_{от} = Ф_{огр} + Ф_в + Ф_и - Ф_ж = 800 + 2000 + 1250 - 2000 = 2050 \text{Вт}.$$

Мощность системы электроотопления:

$$P_{от} = \frac{Ф}{\eta_т} = \frac{2050}{0{,}95} = 2158 \text{Вт}.$$

Задача 5.2. Чему равен общий поток тепловых потерь через строительные ограждения, если известно следующее: удельный тепловой поток потерь $\Delta Ф_{огр}$= 5 Вт/(м^2·°С); строительный объем здания V = 300 м^3; $t_{вн}$ и $t_н$ – расчетные температуры внутри помещения и наружного воздуха равны соответственно 25°С и минус 15°С.

Решение

Общий поток тепловых потерь через строительные ограждения:

$$Ф_{огр} = \Delta Ф_{огр} \cdot V \cdot (t_{вн} - t_н) = 5 \cdot 300 \cdot (21 - (-15)) = 54000 \text{Вт} = 54 \text{ кВт}.$$

Задача 5.3. В птичнике на 20000 бройлеров (средняя масса бройлеров m = 1,4 кг/гол) смонтирована система утилизации теплоты из удаляемого воздуха. Используя уравнение теплового баланса, необходимо определить эффективность (процент снижения затрат на отопление) системы утилизации тепла, если КПД утилизатора $\eta_{ут}$= 0,50. Температура в птичнике $t_{вн}$= 18°С, расчетная температура наружного воздуха $t_н$= –29°С. Размеры птичника: длина×ширина×высота=80×20×3 м. Требуемая кратность воздухообмена $k_в$=5ч$^{-1}$.

Площадь ограждений и коэффициент теплопередачи:

– потолочные перекрытия $F_{пер}$= 1600 м^2, $k_{тпер}$= 1,17 Вт/(м^2·°С);

– стены $F_{ст}$= 600 м^2, $k_{тст}$= 1,54 Вт/(м^2·°С);

– ворота $F_в$= 30 м^2, $k_{тв}$= 2,33 Вт/(м^2·°С);

– окна $F_{ок}$= 600 м^2, $k_{ток}$= 2,68 Вт/(м^2·°С).

Теплота, выделяемая птицей, $q_т$ = 11 Вт/кг. Плотность и теплоемкость воздуха: δ = 1,342 кг/м^3 и c = 0,278 кДж/(кг·°С). Теплопотерями через пол пренебречь.

Решение

Уравнение теплового баланса птичника можно записать в следующем виде:

$$\Phi_{от} + \Phi_{пт} = \Phi_{огр} + \Phi_{вен},$$

из которого можно определить расчетную мощность отопительной системы:

$$\Phi_{от} = \Phi_{огр} + \Phi_{вен} - \Phi_{пт}.$$

Определяем потери теплоты через ограждающие конструкции птичника:

$$\Phi_{ог} = k_{тпер} \cdot F_{пер} \cdot (t_{вн} - t_н) + k_{тст} \cdot F_{ст} \cdot (t_{вн} - t_н) + k_{тв} \cdot F_в \cdot (t_{вн} - t_н) +$$
$$+ k_{ток} \cdot F_{ок} \cdot (t_{вн} - t_н) = \left[k_{тпер} \cdot F_{пер} + k_{тст} \cdot F_{ст} + k_{тв} \cdot F_в + k_{ток} \cdot F_{ок}\right] \times$$

$$\times (t_{вн} - t_н) = \sum_{i=1}^{n} k_{тi} \cdot F_i \cdot (t_в - t_н) = \left[1{,}17 \cdot 1600 + 1{,}54 \cdot 600 + 2{,}33 \cdot 30 + 2{,}68 \cdot 600\right] \times$$
$$\times (18 - (-29)) = 138476{,}1 \text{ Вт} = 138{,}5 \text{ кВт}.$$

Определяем теплоту, уносимую из помещения с вентилируемым воздухом:

$$\Phi_{вен} = c \cdot \delta \cdot V \cdot k_в \cdot (t_{вн} - t_н) = 0{,}278 \cdot 1{,}342 \cdot 4800 \cdot 5 \cdot (18 - (-29)) =$$
$$= 0{,}278 \cdot 1{,}342 \cdot 4800 \cdot 5 \cdot 47 = 420829{,}73 \text{ Вт} = 420{,}83 \text{ кВт}.$$

Определяем теплоту, выделяемую птицей:

$$\Phi_{пт} = q_{пт} \cdot n \cdot m = 1{,}4 \cdot 11 \cdot 20000 = 308000 \text{ Вт} = 308 \text{ кВт}.$$

Расчетная мощность отопительной системы равна:

$$\Phi_{от} = \Phi_{огр} + \Phi_{вен} - \Phi_{пт} = 138{,}5 + 420{,}83 - 308 = 251{,}33 \text{кВт}.$$

Расчетная мощность отопительной системы при наличии системы утилизации теплоты из удаляемого воздуха:

$$\Phi_{от}^{ут} = \Phi_{огр} + \Phi_{вен} \cdot (1 - \eta_{ут}) - \Phi_{ж} = 138{,}5 + 420{,}83 \cdot 0{,}5 - 308 = 40{,}915 \text{кВт}.$$

Определяем эффективность применения утилизатора:

$$Э = \frac{\Phi_{от} - \Phi_{от}^{ут}}{\Phi_{от}} \cdot 100\% = \frac{251{,}33 - 40{,}915}{251{,}33} \cdot 100\% = 83{,}72\%,$$

т.е. использование системы утилизации тепла позволяет снизить мощность отопительной системы на 83,72%.

Задача 5.4. Рассчитать систему вентиляции и отопления коровника на 400 голов. Габариты коровника 111,6×22,2×7 м, объем стойлового помещения 100,6×21,4×2,2 м. Расчетная температура наружного воздуха –20°С. Стены выполнены из красного кирпича, толщина стен 0,38 м, стены изнутри оштукатурены песчано-цементным раствором толщиной 0,02 м.

Перекрытие выполнено из сборных железобетонных плит толщиной 0,035 м, пароизоляции из одного слоя рубероида, настила из досок толщиной 0,03 м и утеплителя из минеральной ваты толщиной 0,16 м.

Полы в стойловом помещении из керамзитобетона, толщина которого 0,15 м, в помещении 66 окон размером 1,92×0,92 м с двойным остеклением и 4 двери с общей площадью 36 м^2, выполненные из 2-х слоев досок, толщиной 0,03 м.

Решение

1) *Расчет системы воздухообмена.* Определяем необходимый воздухообмен из условия удаления избыточной углекислоты. Выделение CO_2 одним животным составляет 142 л/ч, допустимая концентрация CO_2 составляет 2,5 л/м^3, концентрация CO_2 в наружном воздухе составляет 0,3…0,4 л/м^3.

$$L_{co_2} = \frac{\sum_{i=1}^{k} c_i \cdot n_i}{c_1 - c_2} = \frac{143 \cdot 400}{2{,}5 - 0{,}4} = 27238 \text{м}^3/\text{ч}.$$

Для определения требуемого воздухообмена из условия удаления избыточной влаги необходимо определить общее влаговыделение всеми животными:

$$W = \xi \sum_{i=1}^{k} w_i \cdot n_i = 1{,}1 \cdot 455 \cdot 400 = 201520 \text{г/ч}.$$

Отсюда

$$L_W = \frac{W}{d_{вн}\delta_{вн}\varphi_{вн} - d_н\delta_н\varphi_н} = \frac{201520}{7{,}6 \cdot 1{,}248 \cdot 0{,}7 - 0{,}8 \cdot 1{,}396 \cdot 0{,}8} = 35072 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Параметры внутреннего и наружного воздуха определяются по таблице П. 16.

Необходимый для расчетов воздухообмен $L_{расч}$ принимается по наибольшей из двух величин L_{co2} или L_W. Так как $L_W > L_{co2}$ то $L_{расч}$=35072 м^3/ч.

Осуществляем проверку на кратность воздухообмена:

$$k_в = \frac{L_{расч}}{V_{ст.п}} = \frac{35072}{100{,}6 \cdot 21{,}4 \cdot 2{,}2} = 7,$$

полученное значение практически удовлетворяет требованиям, так как для животноводческих ферм кратность воздухообмена равна $k_в$ = 3…6.

Скорость воздуха в вытяжной шахте будет равна:

$$\upsilon = 2{,}2\sqrt{\frac{h \cdot (t_{вн} - t_н)}{273}} = 2{,}2\sqrt{\frac{7 \cdot (10 - (-20))}{273}} = 1{,}97 \text{ м/с}.$$

Площадь сечения вытяжных шахт при естественной тяге составит:

$$F = \frac{L_{расч}}{3600 \cdot \upsilon} = \frac{35072}{3600 \cdot 1{,}97} = 5{,}05 \text{ м}^2.$$

Число вытяжных шахт:

$$n_{в.ш} = \frac{F}{f} = \frac{5{,}05}{0{,}6 \cdot 0{,}6} = 14 \text{ шахт}.$$

Принимается 2 ряда по 7 шахт в ряду.

Суммарная подача вентиляторов для удаления избыточной влаги с учетом поправочного коэффициента на подсосы в воздуховодах, который при стальных, пластмассовых и асбоцементных

воздуховодах длиной до 50 м равен 1,1, составит $L_в = 1{,}1 \cdot 35072 = 38579$ м^3/ч.

Число вентиляторов определяется из условия, что подача одного вентилятора не должна превышать 8000 м^3/ч с учетом предпочтительной схемы отопления и вентиляции.

2) *Расчет системы отопления.* Для расчета теплового режима необходимо определить площадь всех ограждений, которые могут быть определены по паспорту помещения или по его плану.

Площадь окон $F_{ок} = 1{,}92 \cdot 0{,}9 \cdot 66 = 114$ м^2.

Площадь стен, выходящих в неотапливаемые помещения, $F_{ст.вн} = 60$ м^2.

Площадь стен, выходящих наружу, $F_{ст.нар} = 330$ м^2.

Площадь перекрытия $F_{пер} = 2280$ м^2.

Сопротивление теплопередаче наружных стен:

$$R_{тст.н} = R_{твн} + \sum_{i=1}^{m} \frac{\Delta_i}{\lambda_i} + R_{тн} = 0{,}116 + \frac{0{,}02}{0{,}93} + \frac{0{,}38}{0{,}81} + 0{,}043 = 0{,}649\,(\text{м}\cdot°\text{C})/\text{Вт}.$$

Термическое сопротивление перекрытия:

$$R_{тпер} = R_{твн} + \sum_{i=1}^{m} \frac{\Delta_i}{\lambda_i} + R_{тн} = 0{,}155 + \frac{0{,}035}{1{,}63} + \frac{0{,}03}{0{,}17} + \frac{0{,}0015}{0{,}17} + \frac{0{,}16}{0{,}07} + 0{,}123 =$$

$$= 2{,}894\,(\text{м}\cdot°\text{C})/\text{Вт}.$$

Определяются тепловые потери через наружные стены:

$$Ф_{ст.нар} = \frac{1}{0{,}649} \cdot 330 \cdot (10 - (-20)) \cdot 1 = 15254\,\text{Вт}.$$

Определяются тепловые потери через внутренние стены:

$$Ф_{ст.вн} = \frac{1}{0{,}649} \cdot 60 \cdot (10 - (-20)) \cdot 0{,}5 = 1387\,\text{Вт}.$$

Определяются тепловые потери через перекрытие:

$$Ф_{пер} = \frac{1}{2{,}894} \cdot 2280 \cdot (10 - (-20)) \cdot 0{,}9 = 21272\,\text{Вт}.$$

Термическое сопротивление для двойных окон равно 0,345 (м·°С)/Вт, для одинарных окон – 0,170 (м·°С)/Вт, для двойных раздельных окон – 0,345(м·°С)/Вт.

Тепловые потери через окна равны:

$$Ф_{ок} = \frac{1}{0{,}375} \cdot 114 \cdot (10 - (-20)) = 9913\,\text{Вт}.$$

Тепловые потери через двери составят:

$$\Phi_{дв} = \frac{1}{0{,}378} 36 \cdot (10 - (-20)) 0{,}5 = 1429 \text{Вт}.$$

Тепловые потери через полы определяются по участкам вдоль осевой линии. Ширина пола 21,4 м, соответственно расстояние от осевой линии до наружной стены будет 21,4/2=10,7 м. Так как площадь пола необходимо разделить на 2-метровые зоны, начиная от наружных стен, то получится 3 зоны по 2 м и одна зона шириной 4,7 м по обе стороны от осевой линии. Площадь зон $F_1=F_2=F_3=100{,}6 \cdot 2 \cdot 2=402{,}4$ м^2, $F_4=4{,}7 \cdot 100{,}6 \cdot 2=945{,}6$ м^2.

Сопротивление теплопередаче для каждой зоны определяется по формулам

$$R_{т1у.п} = 2{,}15 + \frac{0{,}15}{0{,}35} = 2{,}58 \ \ (\text{м}^2 \cdot °\text{C})/\text{Вт},$$

$$R_{т2у.п} = 4{,}3 + \frac{0{,}15}{0{,}35} = 4{,}7 \ \ (\text{м}^2 \cdot °\text{C})/\text{Вт},$$

$$R_{т3у.п} = 8{,}6 + \frac{0{,}15}{0{,}35} = 9{,}03 \ \ (\text{м}^2 \cdot °\text{C})/\text{Вт},$$

$$R_{т4у.п} = 14{,}2 + \frac{0{,}15}{0{,}35} = 14{,}628 \ \ (\text{м}^2 \cdot °\text{C})/\text{Вт}.$$

Отсюда

$$\Phi_{1п} = \frac{1}{1{,}58} 402{,}4 \cdot (10 - (-20)) = 4679 \text{ Вт},$$

$$\Phi_{2п} = \frac{1}{4{,}7} 402{,}4 \cdot (10 - (-20)) = 2562 \text{Вт},$$

$$\Phi_{3п} = \frac{1}{9{,}03} 402{,}4 \cdot (10 - (-20)) = 1336 \text{ Вт},$$

$$\Phi_{4п} = \frac{1}{14{,}62} 945{,}6 \cdot (10 - (-20)) = 3878 \text{ Вт}.$$

Таким образом, тепловые потери через все ограждения будут равны:

$$\Phi_{огр} = \Phi_{ст.нар} + \Phi_{ст.вн} + \Phi_{пер} + \Phi_{ок} + \Phi_{дв} + \Phi_{1п} + \Phi_{2п} + \Phi_{3п} + \Phi_{4п} = 61711 \text{ Вт}.$$

Потери на вентиляцию будут равны:

$$\Phi_в = \frac{L \cdot \delta \cdot c \cdot (t_{вн} - t_н)}{3600} = \frac{35072}{3600} \cdot 1{,}396 \cdot 1000 \cdot (10 - (-20)) = 408004 \text{Вт}.$$

Случайные и дополнительные потери будут равны:

$$\Phi_{сп} = 0{,}1 \cdot (\Phi_{огр} + \Phi_в) = 41418 \text{Вт};\ \Phi_{доп} = 0{,}1 \cdot \frac{\Phi_{огр}}{2} = 3086 \text{Вт}.$$

Тепловой поток, выделяемый животными:

$$\Phi_ж = \sum_{i=1}^{k} q_i n_i = 722{,}2 \cdot 400 = 288880 \text{Вт}.$$

Тепловой поток, необходимый для отопления животноводческого помещения составит,

$$\Phi_{от} = \Phi_{огр} + \Phi_в + \Phi_{сп} + \Phi_{доп} - \Phi_ж =$$

$$= 61711 + 408004 + 41418 + 3086 - 288880 = 8425 \text{ Вт}.$$

Задача 5.5. Провести тепловой и конструктивный расчет нагревательного блока электрокалорифера мощностью $P_{эку}$= 36 кВт. Компоновка ТЭНов шахматная.

Решение

1) *Тепловой расчет.* В калорифере установим 18 штук ТЭНов, количество рядов z=3, количество ТЭНов в ряду k=6. Мощность одного ТЭНа:

$$P_т = \frac{P_{эку}}{z} = \frac{36000}{18} = 2000 \text{ Вт}.$$

Выбираем ТЭН80В13/2,0К220 (табл. П. 8). Мощность ТЭНа $P_т$ = 2000 Вт, активная длина $l_а$ = 0,8 м, диаметр D = 0,013 м.

Рассчитаем коэффициент теплоотдачи ТЭНа. Выбираем скорость воздуха в калорифере υ = 14 м/с.

Критерий Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{\upsilon \cdot d}{\nu} = \frac{14 \cdot 0{,}013}{18{,}5 \cdot 10^{-6}} = 9837{,}83.$$

Критерий Нуссельта для шахматной компоновки, при $Re > 1 \cdot 10^3$:

$$Nu = 0{,}35 \text{Re}^{0{,}6} = 0{,}35 \cdot 9837{,}83^{0{,}6} = 87{,}05.$$

Коэффициент теплоотдачи ТЭНа:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d} = \frac{87{,}05 \cdot 0{,}027}{0{,}013} = 180{,}79 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}.$$

Средний коэффициент теплоотдачи для шахматной компоновки:

$$\alpha_{ср} = \frac{\alpha \cdot (z - 0{,}7)}{z} = \frac{180{,}79(3 - 0{,}7)}{3} = 138{,}6 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}.$$

Суммарная мощность первого ряда ТЭНов:

$$P_m^1 = kP_m = 6 \cdot 2000 = 12000 \text{ Вт}.$$

Площадь поверхности одного ТЭНа с учетом оребрения: шаг оребрения b=0,005 м, высота ребра h_p= 0,012 м:

$$F_m = \pi \cdot l_a \left(D + \frac{h_p \cdot (D + h_p)}{b} \right) = 3{,}14 \cdot 0{,}8 \left(0{,}013 + \frac{0{,}012(0{,}013 + 0{,}012)}{0{,}005} \right) =$$

$$= 0{,}183 \text{ м}^2.$$

Суммарная площадь первого ряда ТЭНов:

$$F_m^1 = k \cdot F_m = 6 \cdot 0{,}183 = 1{,}098 \text{ м}^2.$$

Температура воздушного потока после калорифера:

$$t_в = \frac{P_к}{\delta \cdot c \cdot L_в} = \frac{18 \cdot 2000}{1{,}1 \cdot 1000 \cdot 1{,}45} = 22{,}57 \text{°C}.$$

Температура ТЭНов первого ряда:

$$t_m^1 = \frac{P_m^1}{0{,}6 \cdot \alpha_{ср} \cdot F_m^1} + t_в = \frac{12000}{0{,}6 \cdot 138{,}6 \cdot 1{,}098} + 22{,}57 = 153{,}99 \text{ °C},$$

что соответствует норме.

2) *Конструктивный расчет.* «Живое» сечение блока нагревателей

$$F_к = \frac{L_в}{\upsilon} = \frac{1{,}45}{14} = 0{,}103 \text{ м}^2.$$

Расстояние между нагревателями в ряду:

$$x_1 = \frac{F_к}{(k+1) \cdot l_a} + D = \frac{0{,}103}{(6+1) \cdot 0{,}8} + 0{,}037 = 0{,}0553 \text{ м}.$$

Расстояние между рядами нагревателей:

$$\frac{3}{2} \cdot D = \frac{3}{2} \cdot 0{,}037 = 0{,}0555,$$

так как $0{,}0555 > 0{,}0553$, следовательно

$$x_2 = 1{,}2 \cdot x_1 = 1{,}2 \cdot 0{,}0553 = 0{,}0663 \text{ м}.$$

Высота блока нагревателей:

$$H = (k+1) \cdot x_1 = (6+1) \cdot 0{,}0553 = 0{,}387 \text{ м}.$$

Ширина блока нагревателей:

$$B_н = l + 0{,}1 = 0{,}8 + 0{,}1 = 0{,}9 \text{ м}.$$

Глубина блока нагревателей:

$$C_н = (z+1) \cdot x_2 = (3+1) \cdot 0{,}0663 = 0{,}265 \text{ м}.$$

Контрольные задания

1. В коровнике находится 45 коров, каждая из которых выделяет 7 Вт тепла. Тепловой КПД – $\eta_т = 0{,}92$. Мощность системы электроотопления $P_о = 1900$ Вт. Определить суммарный тепловой поток потерь.

2. Длина одного из помещений птицефабрики 50 м, ширина 25 м, высота 15 м. Температура воздуха внутри помещения 293 К, наружного воздуха – 274 К. Определить поток тепловых потерь через стены помещения (ограждения) $Ф_{огр}$, если известно, что удельный тепловой поток потерь $\Delta Ф_{огр} = 3$ Вт/(м^2·°С).

3. Определить полезную мощность электрокалорифера для подогрева поступающего снаружи воздуха с температурой $t_н = -40$°С внутрь животноводческого помещения с тем, чтобы воздух подогревался в нем до температуры $t_{вн} = 10$°С, если подача вентилятора равна $L = 500$ м^3/ч; удельная массовая теплоемкость воздуха $c = 1$ кДж/(кг·°С).

4. Рассчитать систему вентиляции и отопления коровника на 200 голов. Габариты коровника 105×20×7 м, объем стойлового помещения 95×20×2 м. Расчетная температура наружного воздуха минус 25°С. Стены выполнены из красного кирпича, толщина стен 0,40 м, стены изнутри оштукатурены песчано-цементным раствором толщиной 0,02 м.

Перекрытие выполнено из сборных железобетонных плит, толщиной 0,035 м, пароизоляции из одного слоя рубероида, настила из досок толщиной 0,03 м и утеплителя из минеральной ваты толщиной 0,16 м.

Полы в стойловом помещении из керамзитобетона, толщина которого 0,15 м, в помещении 60 окон размером 1,92×0,92 м с двойным остеклением и 4 двери с общей площадью 36 м^2, выполненные из 2-х слоев досок толщиной 0,03 м.

5. В птичнике на 10000 кур яичных пород клеточного содержания смонтирована система утилизации теплоты из удаляемого воздуха. Необходимо определить эффективность (процент снижения затрат на отопление) системы утилизации тепла, если КПД утилизатора $\eta_{ут} = 0{,}60$. Температура в птичнике $t_{вн} = 20$°С, расчетная температура наружного воздуха

$t_н$ = –25°С. Размеры птичника: длина×ширина×высота=80×20×3 м. Требуемая кратность воздухообмена $k_в$ = 5 $ч^{-1}$.

Площадь ограждений и коэффициент теплопередачи:

– потолочные перекрытия $F_{пер}$= 1600 $м^2$, $k_{тпер}$= 1,17 Вт/($м^2$·°С);

– стены $F_{ст}$= 600 $м^2$, $k_{тст}$= 1,54 Вт/($м^2$·°С);

– ворота $F_в$= 30 $м^2$, $k_{тв}$= 2,33 Вт/($м^2$·°С);

– окна $F_{ок}$= 600 $м^2$, $k_{ток}$= 2,68 Вт/($м^2$·°С).

Теплопотерями через пол пренебречь.

Контрольные вопросы

1. Что такое микроклимат помещения, его основные параметры?
2. Уравнение теплового баланса животноводческих помещений.
3. Как определяются теплопотери через ограждения?
4. Как определяются теплопотери на вентиляцию?
5. Как определяются тепловыделения животными?
6. Как определяется мощность электроотопительной установки?
7. Устройство электрокалориферной установки (ЭКУ) типа СФОЦ.
8. Как осуществляется выбор ЭКУ? Задачи проверочного расчета.
9. Как регулируется мощности в ЭКУ?
10. Как регулируется температура воздуха на выходе из ЭКУ типа СФОЦ?

6. Расчет мощности электрокалориферной установки для сушки сена активным вентилированием

6.1. Общие сведения о методике расчета установок для активного вентилирования

Сушка сена. Применение метода активного вентилирования для досушки сена позволяет значительно сократить потери питательных веществ, так как при этой технологии скошенную траву и сено убирают с поля при влажности 35…40% и досушивают в местах постоянного хранения на специально изготовленных воздухораспределителях.

Преимущество заготовки сена методом активного вентилирования по сравнению с полевой сушкой заключается в сокращении времени пребывания скошенных трав в поле, зависимости процесса сушки от неблагоприятных погодных условий, увеличении валового сбора сена с единицы площади, а также в более полном сохранении протеина и каротина. При сушке сена активным вентилированием содержание каротина составляет 100…120 мг на 1 кг, а при полевой сушке 35…40 мг. Применение этой технологии сокращает потери листьев, повышает питательность корма на 20…30%. Затраты труда на производство одной кормовой единицы снижаются на 10…15%.

Досушку активным вентилированием можно применять как при заготовке рассыпного, так и прессованного сена. Но приготовление рассыпного измельченного сена наиболее перспективно, так как уменьшаются механические потери за счет сокращения полевых операций, повышается качество сена, полностью устраняется ручной труд на заготовке и раздаче корма животным, повышается производительность труда.

Технологический процесс активного вентилирования можно кратко описать следующим образом. Предварительно скошенную траву провяливают на солнце до влажности 35…40%. После этого сено укладывают слоями толщиной 1…1,5 м на подстожном канале, выполненном в виде несущей фермы, и продувают воздухом в

течение 2…3 дней до влажности 26…30%, затем укладывают следующий слой, при этом общая толщина слоев 4…6 м, а влажность готового сена должна быть в пределах 14…17%. Длительность сушки сена в скирде составляет 45…80 ч, удельный расход электрической энергии – 30…45 кВт·ч/т. После окончания сушки установку вытягивают из-под скирды трактором при помощи троса.

Порядок расчета установок для активного вентилирования.

1) Определяется количество влаги в траве, кг:

$$M_1 = \frac{W_1 \cdot m_1}{100\%}, \tag{6.1}$$

где m_1 – масса травы, кг; W_1 – относительная влажность травы, %.

2) Количество влаги в сене, кг:

$$M_2 = \frac{W_2 \cdot m_2}{100\%}, \tag{6.2}$$

где m_2 – масса сена, кг; W_2 – относительная влажность сена, %.

3) Количество влаги, испаряемой в процессе сушки, кг:

$$M = M_1 - M_2 = \frac{W_1 \cdot m_1 - W_2 \cdot m_2}{100\%}. \tag{6.3}$$

Подогрев воздуха на 1°С снижает влажность на 5-6 %.

4) Определяется масса абсолютно сухого сена, кг:

$$\left.\begin{aligned} m = m_1 - M_1 = m_1 \cdot \left(\frac{100\% - W_1}{100\%}\right) \\ m = m_2 - M_2 = m_2 \cdot \left(\frac{100\% - W_2}{100\%}\right) \end{aligned}\right\}, \tag{6.4}$$

отсюда соотношение между m_2 и m_1 определяется через относительную влажность исходной травы и сена, кг:

$$m_2 = m_1 \cdot \frac{100\% - W_1}{100\% - W_2}. \tag{6.5}$$

5) Определяется количество влаги, подлежащее удалению, кг:

$$M = m_1 \frac{W_1 - W_2}{100\% - W_2} \tag{6.6}$$

или

$$M = m_2 \frac{W_1 - W_2}{100\% - W_1}. \tag{6.7}$$

6) Необходимая производительность вентилятора L, м^3/ч, для удаления избыточной влаги определяется из формулы

$$L = \frac{M}{(d_2 - d_1)\cdot \tau \cdot \delta}, \quad (6.8)$$

где d_1 – влагосодержание воздуха до поступления в стог, г/кг; d_2 – влагосодержание воздуха после отработки, г/кг; τ – время сушки, ч; δ – плотность воздуха, кг/м^3.

Влагосодержание воздуха на входе и после обработки можно определить по формулам, г/кг:

$$d_1 = d_1^{'} \cdot \varphi_{нач} \quad (6.9)$$

и

$$d_2 = d_2^{'} \cdot \varphi_{кон}, \quad (6.10)$$

где $\varphi_{нач}$ – относительная влажность воздуха на входе в стог сена; $\varphi_{кон}$ – относительная влажность воздуха на выходе из стога сена; $d_1^{'}$ – количество насыщающих водяных паров в 1 кг сухого воздуха на входе в стог сена, при соответствующей температуре, г/кг; $d_2^{'}$ – количество насыщающих водяных паров в 1 кг сухого воздуха на выходе из стога сена при соответствующей температуре, г/кг.

7) Мощность электродвигателя для привода вентилятора, Вт:

$$P_в = \frac{L \cdot H}{\eta_в \cdot \eta_{пер}}, \quad (6.11)$$

где H – полный напор вентилятора, Па; $\eta_в$ – КПД вентилятора, $\eta_в$=0,5…0,6; $\eta_{пер}$ – КПД передачи.

8) Полный напор вентилятора определяется по формуле

$$H = h_{тр} + h_{мест} + h_{стога}, \quad (6.12)$$

где $h_{дин}$ – динамический напор, Па; $h_{трен}$ – напор, необходимый на преодоление трения воздуха о стенки воздуховода, Па; $h_{мест}$ – потери напора от местных сопротивлений, Па; $h_{стога}$– потери напора в стоге сена, принимается в зависимости от высоты стога, Па, 500…700 Па.

Потери напора в воздуховоде будут равны, Па:

$$h_{тр} = \alpha \cdot \frac{l}{d} \cdot \delta \cdot \frac{\upsilon^2}{2}, \quad (6.13)$$

где α_0 – коэффициент трения воздуха в трубопроводе, α = 0,02; l и d – длина и диаметр воздуховода, м; δ – плотность воздуха при соответствующей температуре, кг/м^3; υ – скорость воздушного потока в воздуховоде, м/с.

Потери напора от местных сопротивлений будут равны, Па:

$$h_{мест} = \sum \xi \cdot \delta \cdot \frac{\upsilon^2}{2}, \qquad (6.14)$$

где $\sum \xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений.

Потери напора в стоге сена $h_{стога}$ принимаются в зависимости от высоты стога – 400…700 Н/м^2 (Па).

Коэффициенты местных сопротивлений ξ для отдельных участков вентиляционной системы: а) жалюзийная решетка на входе ξ = 0,5; б) колено воздуховода под углом 90° при радиусе скругления в два диаметра воздуховода ξ =0,15.

9) Мощность электрокалорифера, кВт:

$$P_к = \frac{L \cdot c \cdot \Delta t \cdot \delta}{\eta_{эку} \cdot 3600}, \qquad (6.15)$$

где c – теплоемкость воздуха, 1,282 кДж/(кг·°С); Δt – повышение температуры воздуха при нагреве в электрокалорифере, не более 6°С; δ – плотность воздуха, кг/м^3; $\eta_{эку}$– КПД электрокалорифера, $\eta_{эку}$=0,9…0,95.

При большем повышении температуры испаренная влага из травы не успевает из неё уходить, в результате внутри тканей травы создается повышенное давление и трава разрывается на множество мелких частиц, что существенно снижает качество сена.

10) Расчет электрокалорифера выполняется по обычной методике.

В качестве примера можно привести параметры электрокалориферов НВЭ к установкам вентилирования сена УВС-10 и ОВС-16 с длиной подстожных каналов соответственно 10 и 16 м. Электрокалориферы типа НВЭ-63 и НВЭ-100 (нагреватель воздуха электрический мощностью 63 и 100 кВт) устанавливают между вентиляторами и подстожными каналами.

Электрокалориферы этого типа имеют специально разработанные ТЭНы с латунными трубками и такими же пластинами оребрения. Длина ТЭНов равна 1 м, глубина электрокалориферов составляет соответственно 0,85 и 1,1 м. Основные технические параметры электрокалориферов типа НВЭ-63 и НВЭ-100 приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1

Технические параметры электрокалориферов типа НВЭ

Показатель	НВЭ-63	НВЭ-100
Тип используемой установки для сушки сена	УВС-10	ОВС-16
Мощность электрокалорифера, кВт	63	100
Мощность одного ТЭНа, кВт	1,5	2,1
Число нагревателей	42	48
Число секций	2	2
Разница температур на выходе и входе, °С	6,5	7
Продолжительность разогрева, мин	7	8
Тип вентилятора	Ц4-70 №10	ВО-6-290-11
Объемная подача воздуха, $м^3/ч$	30	50-55
Мощность электродвигателя вентилятора, кВт	17	10

Активное вентилирование зерна. Под активным вентилированием понимают принудительное продувание зерновой массы воздухом без ее перемещения, что возможно благодаря скважистости зерновой массы. В зависимости от назначения различают несколько видов вентилирования:

1) Профилактическое вентилирование предназначено для предотвращения самосогревания зерна – его проводят периодически, используя преимущественно ночное время суток и временное похолодание.

2) Вентилирование для охлаждения зерна проводят для снижения температуры до 0…10°С, при которой физиологические и микробиологические процессы в зерновой массе затормаживаются, а вредители впадают в анабиоз.

3) Вентилирование для промораживания зерна проводят для понижения его температуры ниже 0°С, так как в промороженном зерне активность физиологических и биохимических процессов снижается до минимума, а жизнедеятельность микроорганизмов и вредителей хлебных запасов приостанавливается. При температуре –4…–5°С вредители впадают в состояние глубокого окоченения, а при длительном воздействии отрицательных температур – погибают. При охлаждении зерна до минус 15°С большинство клещей и других насекомых погибает в течение суток. Таким образом, вентилирование для промораживания может быть использовано для обработки зараженного зерна.

4) Вентилирование для ликвидации самосогревания зерна. Для прогрева семян их вентилируют теплым или слегка подогретым воздухом.

5) Вентилирование для аэрации межзерновых пространств. В процессе хранения в результате дыхания семян кроме теплоты и влаги выделяется углекислый газ, а так как семена живые организмы, то они могут погибнуть в бескислородной среде. Активное вентилирование освежает межзерновое пространство, обогащает его кислородом и тем самым позволяет сохранить жизнеспособность семян.

6) Активное вентилирование, которое можно применять также и для сушки зерна. При сушке зерна атмосферным воздухом продолжительность вентилирования не должна превышать периода безопасного хранения зерна. Для этого пользуются специальной таблицей, в которой приводятся данные по безопасному хранению зерна в зависимости от культуры, температуры зерна и его влажности. Недостатки сушки зерна активным вентилированием атмосферным воздухом – это длительность процесса, зависимость от погодных условий и неравномерность сушки по высоте слоя.

Более эффективна сушка зерна подогретым воздухом. В этом случае сушку можно проводить независимо от погодных условий и значительно сократить время. Воздух обычно подогревают на 10…15°С, но его температура не должна превышать 30…35°С, так как более высокие температуры приводят к пересушиванию зерна в нижних слоях насыпи. Указанная степень подогрева вполне достаточна для того, чтобы проводить сушку зерна в сырую погоду при относительной влажности воздуха 100 %.

Сушку активным вентилированием наиболее целесообразно применять для зерна, которое подвержено растрескиванию в зерносушилках, а именно семян кормовых бобов, сои, гороха, люпина, кукурузы. С учетом того, что мягкие режимы сушки благоприятно влияют на послеуборочное дозревание семян и способствуют улучшению их посевных качеств, следует использовать метод активного вентилирования для сушки семенного зерна.

Процесс активного вентилирования зерна осуществляют в закромах и специальных бункерах.

В закромах зерно насыпают слоем 1…1,5 м над воздухораспределительными каналами и продувают холодным или подогретым воздухом с помощью вентиляторов, расположенных снаружи сооружения.

Для подогрева воздуха используют воздухоподогреватель ВПЭ-6А установленной мощностью 26 кВт, в том числе мощность

электрокалорифера составляет 16 кВт. Подача воздуха равна 6000 м^3/ч. Агрегат располагается снаружи зданий или сооружений и соединяется воздуховодами с воздухораспределительной системой закромов. Одновременно можно вентилировать зерно, насыпанное слоем до 1,5 м на площади до 18 м^2. Электрокалорифер имеет 32 ТЭНа, включенных в три секции, что позволяет изменять мощность, а следовательно, и температуру выходящего воздуха

Бункера активного вентилирования БВ-25 и БВ-40 имеют два коаксиальных перфорированных цилиндра, в кольцевой зазор между которыми засыпается зерно. Во внутренний цилиндр с помощью центробежного вентилятора подается холодный или подогретый воздух, который пронизывает слой зерна в радиальном направлении и уносит лишнюю влагу. При влажности более 65% воздух может подогреваться на 5…6°С двухсекционным электрокалорифером.

Бункера БВ-25 и БВ-40 имеют вместимость соответственно 25 и 40 т. Установленная мощность 29,5 и 47,5 кВт, в том числе мощность электрокалориферов 24 и 40 кВт. Бункера размещают в зданиях закрытого типа с легкими ограждающими конструкциями.

Последовательность расчета мощности электроподогревателей воздуха, используемых для сушки зерна активным вентилированием.

Исходными данными для расчета являются: производительность установки по сырому зерну G_1, кг/ч, и по высушенному – G_2, кг/ч; параметры влажного зерна: температура t_1, °С, относительная влажность φ_1, %; параметры высушенного зерна: температура t_2, °С, относительная влажность φ_2, %; параметры наружного воздуха: температура t_o, °С, относительная влажность φ_o, %. Конечной температурой t_2 и относительной влажностью воздуха φ_2 на выходе из сушильной установки задаются или принимают их по опыту эксплуатации подобных установок. Значение φ_2 чаще всего принимают равным 80%.

По исходным данным из *I-d* диаграммы влажного воздуха находят значения: I_o, I_1, d_1, d_2.

Из материального баланса сушки определяю количество испаряемой влаги, кг/ч:

$$M = \Pi_1 \cdot \frac{W_1 - W_2}{100\% - W_2}. \qquad (6.16)$$

Часовой расход воздуха, необходимый для удаления влаги, кг/ч:

$$L = \frac{M \cdot 1000}{d_2 - d_1}. \qquad (6.17)$$

Разность $\Delta t = d_2 - d_1$ представляет собой удельный влагосъём на 1 кг воздуха, прошедшего через зерно. Удельный влагосъём тем больше, чем выше скорость и температура теплоносителя, влажность материала и совершеннее конструкция сушилки.

Потребная мощность электроподогревателей воздуха, кВт:

$$P = \frac{L \cdot (I_1 - I_o)}{3600 \cdot \eta_э}, \ , \qquad (6.18)$$

где $\eta_э$ – КПД электрокалорифера, $\eta_э$=0,91…0,95

Примеры решения задач

Задача 6.1. Рассчитать и выбрать электрокалориферную установку для сушки сена активным вентилированием по следующим данным: масса сена $m_2 = 50$ т; влажность сена $W_2 = 17\%$; начальная влажность исходной травы $W_1 = 40\%$; расчетная температура окружающего воздуха 25°С; средняя относительная влажность отработанного воздуха $\varphi_{кон} = 90\%$; начальная относительная влажность окружающего воздуха $\varphi_{нач} = 40\%$; длительность сушки $\tau = 100$ ч; длина воздуховода $l = 2{,}5$ м; скорость воздушного потока в воздуховоде $\upsilon = 5$ м/с.

Решение

Определяем количество влаги в исходной траве:

$$m_1 = m_2 \cdot \frac{100 - W_2}{100 - W_1} = \frac{50000 \cdot (100 - 17)}{100 - 40} = 69{,}166 \text{ т},$$

$$M_1 = \frac{W_1 \cdot m_1}{100} = \frac{40 \cdot 69{,}166}{100} = 27{,}67 \text{ т}.$$

Определяем массу абсолютно сухого сена из уравнений, для этого необходимо определить количество влаги в сене:

$$M_2 = \frac{m_2 \cdot W_2}{100} = \frac{50000 \cdot 17}{100} = 8500 \text{ кг}.$$

Масса абсолютно сухого сена:

$$m = m_1 - M_1 = 69{,}17 - 27{,}668 = 41{,}502 \text{ т}.$$

Количество влаги, испаряемой в процессе сушки:

$$M = M_1 - M_2 = 27{,}668 - 8{,}500 = 19{,}17 \text{ т.}$$

или

$$M = m_1 \cdot \frac{W_1 - W_2}{100\% - W_2} = 69{,}166 \cdot \frac{40 - 17}{100 - 17} = 19{,}17 \text{ т.}$$

Требуемая производительность вентилятора для удаления избыточной влаги равна:

$$L = \frac{M \cdot 1000}{(d_2 - d_1) \cdot \tau \cdot \delta} = \frac{19170 \cdot 1000}{(23{,}5 - 12) \cdot 100 \cdot 1{,}185} = 14{,}067 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч},$$

$$d_1 = d_1^{'} \cdot \varphi_{нач} = 20 \cdot 0{,}6 = 12 \text{ г/кг}, \; d_2 = d_2^{'} \cdot \varphi_{кон} = 26{,}2 \cdot 0{,}9 = 23{,}5 \text{ г/кг}.$$

Полный напор вентилятора определим как

$$H = h_{тр} + h_{мест} + h_{стога} = 1{,}5 + 9{,}62 + 600 = 610{,}12 \text{ Па}.$$

Потери напора в воздуховоде и местные потери равны:

$$h_{тр} = \alpha \cdot \frac{l}{d} \cdot \delta \cdot \frac{\upsilon^2}{2} = 0{,}02 \cdot \frac{2{,}5}{0{,}5} \cdot 1{,}185 \cdot \frac{5^2}{2} = 1{,}5 \text{ Н/м}^2,$$

$$h_{мест} = \sum \xi \cdot h_{дин} = \sum \xi \cdot \delta \cdot \frac{\upsilon^2}{2} = (0{,}5 + 0{,}15) \cdot 1{,}185 \cdot \frac{5^2}{2} = 9{,}62 \text{ Н/м}^2.$$

Потери напора в стоге сена принимаем равными 600 Па.

Мощность электродвигателя для привода вентилятора:

$$P_в = \frac{L \cdot H}{\eta_в \cdot \eta_{пер} \cdot 3600} = \frac{14067 \cdot 610{,}12}{0{,}6 \cdot 1 \cdot 3600} = 3973 \text{ Вт}.$$

Мощность электрокалорифера:

$$P_к = \frac{L \cdot c \cdot \Delta t \cdot \delta}{\eta_{эку} \cdot 3600} = \frac{14{,}067 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 5 \cdot 1{,}185}{0{,}95 \cdot 3600} = 24370 \text{ Вт}.$$

Таким образом, электрокалорифер должен быть мощностью не менее 25 кВт, а производительность вентилятора – не менее 14 000 м^3/ч.

Задача 6.2. Определить мощность электроподогревателей воздуха для установки активного вентилирования вместимостью 50 т. Продолжительность сушки 100 ч. Начальная влажность зерна $W_1 = 23\%$; конечная – $W_2 = 14\%$. Параметры наружного воздуха: $t_o = 15°C$; $\varphi_o = 60\%$. Воздух подогревается на 6°С. Температура воздуха, покидающего ворох зерна, $t_2 = 15°C$; влажность $\varphi_2 = 80\%$.

Решение

По исходным данным из *I-d* диаграммы влажного воздуха находим: I_o = 31,4 кДж/кг; $d_o = d_1$ = 6,5 г/кг; I_1 = 37,7 кДж/кг; d_2 = 9,2 г/кг.

Определяем количество испаряемой влаги:

$$M = m_1 \cdot \frac{W_1 - W_2}{100\% - W_2} = 50 \cdot 10^3 \cdot \frac{23-14}{100-14} = 5240 \text{ кг}.$$

Необходимый часовой расход воздуха для удаления влаги:

$$L = \frac{M \cdot 1000}{d_2 - d_1} = \frac{5240 \cdot 1000}{(9{,}2 - 6{,}5) \cdot 100} = 19400 \text{кг/ч}.$$

Потребная мощность воздухоподогревателей при $\eta_э$ = 0,92:

$$P = \frac{L \cdot (I_1 - I_o)}{\eta_э \cdot 3600} = \frac{19400 \cdot (37{,}7 - 31{,}4)}{0{,}92 \cdot 3600} = 37 \text{ кВт}.$$

Контрольные задания

1. Рассчитать и выбрать электрокалориферную установку для сушки сена активным вентилированием по следующим данным: масса сена m_2 = 30 т; влажность сена W_2 = 15%; начальная влажность исходной травы W_1 = 35%; расчетная температура окружающего воздуха 22°С; средняя относительная влажность отработанного воздуха $\varphi_{кон}$ = 90%; начальная относительная влажность окружающего воздуха $\varphi_{нач}$ = 38%; длительность сушки τ = 80 ч; длина воздуховода l = 5,5 м; скорость воздушного потока в воздуховоде υ = 5 м/с.

Контрольные вопросы

1. Какова технология заготовки сена активным вентилированием?
2. Качество сена, заготовленного активным вентилированием.
3. Температурные режимы сушки сена активным вентилированием.
4. Перечислите факторы, влияющие на интенсивность сушки.
5. Как определить количество влаги, подлежащей удалению из исходной травы?
6. Как определить мощность электрокалорифера для сушки сена?
7. Как определить производительность вентилятора и мощность электродвигателя для его привода?

7. Расчет теплового режима парников

7.1. Общие сведения из теории расчета теплового режима парников

В культивационных сооружениях, особенно в парниках и теплицах сезонной эксплуатации: весна и осень, широко распространены системы подогрева внутренней воздушной среды. Мощность установок для электрообогрева теплиц и парников должна быть достаточна для компенсации потерь тепла в окружающую среду в ночном режиме, когда отсутствует естественная солнечная радиация, а наружная температура имеет минимальное значение.

Подробный тепловой расчет помещений защищенного грунта оказывается нередко затруднительным из-за неопределенности некоторых исходных данных: кратности воздухообмена, инфильтрации, потерь тепловой энергии в грунт и т.п. Поэтому для практических и оценочных расчетов мощность электронагревательных установок определяют по приближенной методике, в основе которой лежит необходимость компенсации потерь тепла через ограждающие конструкции.

Температура внутри парника $t_{вн}$ будет устойчива в том случае, если количество теплоты, отдаваемое парником или теплицей в окружающую среду, будет равно количеству теплоты, выделяемой нагревательным устройством для обогрева внутреннего воздушного пространства культивационного сооружения. Расчётная мощность нагревательной установки, компенсирующей теплопотери в окружающую среду, определяется по формуле, Вт:

$$P_m = \alpha \cdot F \cdot (t_{вн} - t_н), \qquad (7.1)$$

где $\alpha = \alpha_г + C\alpha_о$ – коэффициент теплоотдачи парника в окружающую среду, Вт/(м^2·°С); $\alpha_г$ – коэффициент теплоотдачи от внутреннего воздуха к грунту, $\alpha_г$ = 1..1,2 Вт/(м^2·°С); C – коэффициент, учитывающий потери на инфильтрацию; C = 1,2 для рам с одинарным остеклением, C = 1,1 для рам с двойным остеклением; $\alpha_о$ – коэффициент теплоотдачи от внутреннего воздуха к наружному, Вт/(м^2·°С); F – площадь остекления, м^2; $t_н$ – температура наружного воздуха, °С.

Коэффициент теплоотдачи α_o, Вт/(м^2·°С), определяется в зависимости от вида ограждения парника:

$$\alpha_o = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{1}{\alpha_н} + \frac{n_c \cdot \Delta_c}{\lambda_c} + \frac{\Delta_м}{\lambda_м} + \frac{\Delta_в}{\lambda_в} \cdot (n_c - 1)}, \qquad (7.2)$$

где $\alpha_{вн}$ – коэффициент теплопередачи от внутреннего воздуха к стеклу, $\alpha_{вн}$ = 10 Вт/(м^2·°С); $\alpha_н$ – коэффициент теплоотдачи от стекла наружному воздуху, $\alpha_{нар}$= 25 Вт/(м^2·°С); n_c – число остеклений; Δ_c – толщина стекла, Δ_c= 0,002…0,004 м; $\Delta_м$ – толщина мата, м; $\Delta_в$ – толщина воздушного промежутка между стеклами, м; λ_c – теплопроводность стекла, λ_c = 0,745 Вт/(м^2·°С); $\lambda_м$ – теплопроводность мата, Вт/(м^2·°С); $\lambda_в$ – теплопроводность воздушного промежутка, $\lambda_в$ = 0,28 Вт/(м^2·°С).

Расчетная наружная температура самого холодного месяца в период эксплуатации определяется по формуле, °С:

$$t_{н.р} = t_{ср} + 0{,}6 \cdot (t_{мин} - t_{ср}), \qquad (7.3)$$

где $t_{ср}$ – средняя температура наиболее холодного месяца в период эксплуатации, °С; $t_{мин}$ – минимальная температура наиболее холодного месяца данной климатической зоны, °С.

Следовательно, тепловой поток (мощность), теряемый в окружающую среду, можно определить по формуле, Вт:

$$P_т = \left(\alpha_г + C \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{1}{\alpha_{нар}} + \frac{n_c \cdot \Delta_c}{\lambda_c} + \frac{\Delta_м}{\lambda_м} + \frac{\Delta_в}{\lambda_в} \cdot (n_c - 1)} \right) \times F(t_{вн} - t_{н.р}) \ . \qquad (7.4)$$

Примеры решения задач

Задача 7.1. Определить мощность для обогрева квартала парников. Число парников *n = 12*, число рам в парнике *m* = 20, размеры рам *a*×*b*=1,6×1,06 м. Температура внутри парника $t_{вн}$ = 10°С; средняя температура самого холодного месяца в период эксплуатации $t_{ср}$ = –10°С; минимальная температура наиболее холодного месяца данной климатической зоны $t_{мин}$ = –15°С. Рамы имеют двойное остекление. Исходные параметры ограждений и характеристики материалов: n_c = 2; $\alpha_г$ = 1 Вт/(м^2·°С);

C = 1,1; $\alpha_{вн}$ = 10 Вт/(м^2·°С); $\alpha_н$ = 25 Вт/(м^2·°С); $\Delta_с$ = 0,002 м; $\lambda_с$ = 0,745 Вт/(м^2·°С); $\Delta_в$ = 0,1 м; $\lambda_в$ = 0,26 Вт/(м^2·°С).

Решение

Определяем площадь парника:

$$F = n \cdot m \cdot a \cdot b = 12 \cdot 20 \cdot 1{,}6 \cdot 1{,}06 = 407 \text{ м}^2.$$

Средняя расчетная наружная температура воздуха самого холодного месяца за период эксплуатации будет равна:

$$t_{н.р} = t_{ср} + 0{,}6 \cdot \left(t_{мин} - t_{ср}\right) = -10 + 0{,}6 \cdot \left(-15 - \left(-10\right)\right) = -13\,°\text{С}.$$

Тепловой поток потерь, определяющий мощность для обогрева парников составит:

$$P_т = \left(\alpha_г + C \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{1}{\alpha_н} + \frac{n_с \cdot \Delta_с}{\lambda_с} + \frac{\Delta_в}{\lambda_в} \cdot (n_с - 1)} \right) \cdot F \cdot \left(t_{вн} - t_{н.р}\right) =$$

$$= \left(1 + 1{,}1 \cdot \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{1}{25} + \frac{0{,}002}{0{,}745} + \frac{0{,}1}{0{,}26} \cdot (2 - 1)} \right) \cdot 407 \cdot \left(10 - \left(-13\right)\right) = 27400 \text{ Вт}.$$

Задача 7.2. При сильных морозах, для того чтобы не увеличивать установленную мощность нагревателей парников, рамы закрывают теплоизоляционными матами. Определить, какой толщины необходим мат из минеральной ваты ($\lambda_в$ = 0,017 Вт/(м^2·°С) – теплопроводность минеральной ваты) исходя из условий задачи 7.1, чтобы сохранить прежние потери в окружающую среду при снижении температуры до $t_н$ = –25°С.

Решение

Уравнение теплового баланса парника в общем виде может быть представлено следующим образом:

$$P_т = \left(\alpha_г + C \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{1}{\alpha_н} + \frac{n_с \cdot \delta_с}{\lambda_с} + \frac{\delta_м}{\lambda_м} + \frac{\delta_в}{\lambda_в} \cdot (n_с - 1)} \right) \cdot F \cdot (t_{вн} - t_н).$$

Подставив расчетные значения известных составляющих уравнения теплового баланса, получим уравнение следующего вида:

$$P_m = \left(1 + \frac{1{,}1}{0{,}523 + \frac{\delta_{мв}}{\lambda_{мв}}}\right) \cdot 407 \cdot (10 - (-25)) = 27400 \text{Вт}.$$

После подстановки $\lambda_в$ = 0,017 Вт/(м·°С) определим требуемую толщину мата из минеральной ваты $\delta_{мв}$= 0,0115 м.

Проверим верность вычислений:

$$P_{т.расч} = \left(1 + \frac{1{,}1}{0{,}523 + \frac{0{,}0115}{0{,}017}}\right) \cdot (407 \cdot (10 - (-25))) = 27305 \text{Вт}.$$

Так как $P_т$=27400 Вт, а расчетный тепловой поток равен 27305 Вт, то определение толщины мата из минеральной ваты выполнен правильно.

Контрольные задания

1. Определить мощность для обогрева квартала парников. Число парников *n=10*, число рам в парнике *m*=20, размеры рам *a*×*b*=1,6×1,2 м. Температура внутри парника $t_{вн}$=18°С; средняя температура самого холодного месяца в период эксплуатации $t_{ср}$= –12°С; минимальная температура наиболее холодного месяца данной климатической зоны $t_{мин}$= –20°С. Рамы имеют двойное остекление. Исходные параметры ограждений и характеристики материалов: $n_с$ = 2; $\alpha_г$ = 1 Вт/(м^2·°С); C = 1,1; $\alpha_{вн}$ = 10 Вт/(м^2·°С); $\alpha_н$ = 25 Вт/(м^2·°С); $\Delta_с$ = 0,002 м; $\lambda_с$ = 0,745 Вт/(м^2·°С); $\Delta_в$ = 0,1 м; $\lambda_в$ = 0,26 Вт/(м^2·°С).

2. При сильных морозах, для того чтобы не увеличивать установленную мощность нагревателей парников, рамы закрывают теплоизоляционными матами. Площадь парника 450 м^2; рамы имеют двойное остекление. Расчетные параметры ограждений и характеристики материалов следующие: $n_с$= 2; $\alpha_г$ = 1 Вт/(м^2·°С); C = 1,1; $\alpha_{вн}$ = 10 Вт/(м^2·°С); $\alpha_н$ = 25 Вт/(м^2·°С); $\Delta_с$ = 0,002 м; $\lambda_с$ = 0,745 Вт/(м^2·°С); $\Delta_в$ = 0,1 м; $\lambda_в$ = 0,26 Вт/(м^2·°С). Температура внутри парника $t_{вн}$=16°С; средняя температура самого холодного месяца в период эксплуатации $t_{ср}$= –12°С; минимальная температура наиболее холодного месяца данной климатической зоны $t_{мин}$= –15°С. Какой толщины необходим мат из минеральной ваты ($\lambda_в$ = 0,017 Вт/(м^2·°С)),

чтобы сохранить тепловой поток потерь в окружающую среду P_m= 25000 Вт при снижении температуры до минус 25°С.

3. Квартал парников насчитывает m=240 рам (12 штук 20-рамных парников). Застекленная площадь парников составляет 408 м^2. Климатические условия эксплуатации: наиболее холодный месяц – февраль со средней температурой $t_{ср}$= –10°С и минимальной температурой $t_{мин}$= –30°С, температура внутри парника должна быть $t_{вн}$=18°С. Необходимо определить длину стальной катанки для обогрева, если погонная мощность ΔP = 30 Вт/м, а удельный тепловой поток тепловых потерь составляет α = 4…6 Вт/(м^2·°С).

Контрольные вопросы

1. Какой должа быть мощность установок для электрообогрева теплиц и парников?
2. От чего зависит коэффициент теплоотдачи парника в окружающую среду?
3. При каком условии температура внутри парника $t_{вн}$ будет устойчива?
4. От чего зависит коэффициент теплоотдачи от внутреннего воздуха к наружному?
5. Что включает в себя задача расчета электрообогрева, какие данные используются в качестве исходных?
6. Как определяется расчетная наружная температура самого холодного месяца в период эксплуатации?
7. Что представляет собой расчет мощности электрообогревательной установки?
8. В чем заключается проверка результатов расчета?
9. Как регулируется температура почвы и воздушной среды в парниках?

8. Индукционный и диэлектрический нагрев

8.1. Общие сведения из теории расчета установок индукционного нагрева

Индукционный нагрев осуществляется в переменном магнитном поле. Проводники, помещенные в электромагнитное поле, нагреваются вихревыми токами, наводимыми в них по закону электромагнитной индукции.

Интенсивный нагрев можно получить лишь в полях высокой напряженности и частоты, которые создаются специальными устройствами – индукторами (индукционными нагревателями), питаемыми от сети или индивидуальных генераторов токов высокой частоты. Индуктор следует считать первичной обмоткой воздушного трансформатора, вторичной обмоткой которого служит нагреваемое тело. Любой индуктор состоит из следующих частей: индуктирующего провода, который создает магнитное поле, необходимое для индуктирования тока в нагреваемой детали; токоподводящих шин; колодок, служащих для соединения индуктора с понижающим трансформатором; устройства для подачи воды, охлаждающей индуктор и нагреваемую деталь с целью ее закалки. Основной же частью индуктора является индуктирующий провод, конструкция которого в значительной степени определяет результат нагрева или закалки.

В зависимости от применяемых частот установки индукционного нагрева разделяют на установки:

1) низкой (промышленной) частоты – 50 Гц;
2) средней (повышенной) частоты – до 10 кГц;
3) высокой частоты – свыше 10 кГц.

Деление индукционного нагрева по частотным диапазонам диктуется техническими и технологическими соображениями, а физическая сущность и общие количественные закономерности для всех частот одинаковы. Частота оказывает существенное влияние на интенсивность и характер нагрева.

Глубина проникновения электромагнитной волны в металл находится по приближённой формуле Штейнметца следующего вида:

$$z_0 = 503\sqrt{\frac{\rho}{\mu_r \cdot f}}, \qquad (8.1)$$

где μ_r – относительная магнитная проницаемость материала, которая зависит от напряженности магнитного поля, Гн/м; f – частота переменного тока, Гц.

Глубина проникновения тока изменяется в зависимости от температуры металла, поскольку по мере нагрева значение ρ увеличивается, а μ_r уменьшается. Для стали значение μ_r резко снижается при прохождении точки магнитного превращения, примерно равной 780°С, выше которой $\mu_r = 1$ (при комнатной температуре $\mu_r = 100…200$). Поэтому глубина проникновения с ростом температуры увеличивается. При «горячем режиме», т.е. при температуре свыше 780°С, глубина проникновения может быть принята за глубину нагрева. При поверхностной закалке глубина закаливаемого слоя составляет около половины значения горячей глубины проникновения токов, т.е. 40…50%.

Излучаемая индуктором электромагнитная волна падает на металлическое тело и, поглощаясь в нем, вызывает нагрев. Индуктированный ток сосредотачивается в полосе, ширина которой близка к ширине индуктора. Соответственно этому и ширина нагретой полосы также мало отличается от ширины индуктора.

Мощность потока энергии, протекающего через единицу поверхности тела, представляет собой удельную поверхностную мощность ΔP, Вт/м^2:

$$\Delta P = 2\pi \cdot J \cdot \sqrt{\rho \cdot \mu_r \cdot f} = 2\pi \cdot J \cdot K_n, \qquad (8.2)$$

где J – настил тока, А/м; $K_n = \sqrt{\rho \cdot \mu_r \cdot f}$ – коэффициент поглощения мощности в материале.

В задачу расчета индукционных нагревательных установок входит определение параметров схемы замещения (рис. 8.1), составленной исходя из того, что индукционная установка промышленной частоты представляет собой воздушный трансформатор, работающий в режиме короткого замыкания.

Параметры нагреваемых деталей в переменном магнитном поле:

– активное сопротивление вихревым токам $r_м$, Ом:

$$r_м = \rho_м \cdot \frac{l_{вт}}{F_{вт}}, \qquad (8.3)$$

где $l_{вт}$ – длина пути вихревых токов по поверхности детали, м; $F_{вт}$ – площадь поперечного сечения вихревых токов, м^2; $\rho_м$ – удельное электрическое сопротивление материала, из которого изготовлена деталь, Ом·м;

– индуктивное сопротивление $x_м$, Ом детали вихревым токам:

$$x_м = \omega \cdot L_м, \tag{8.4}$$

где ω – угловая частота электромагнитной волны, с$^{-1}$; $L_м$ – индуктивность соленоида, образованного вихревыми токами, Гн.

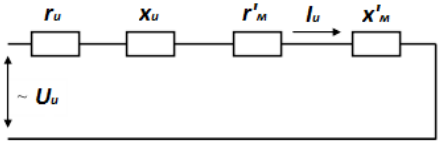


Рис. 8.1. Схема замещения индукционной нагревательной установки промышленной частоты

Индуктивность соленоида, образуемого вихревыми токами, $L_м$, Гн:

$$L_м = \frac{\mu_r \cdot \mu_0 \cdot F_{мf} \cdot w_м^2}{h} \cdot K_c, \tag{8.5}$$

где μ_r – относительная магнитная проницаемость материала; μ_o – магнитная постоянная, Гн/м; μ_o=7,4·π·10^{-7} Гн/м; $F_{мf}$ – площадь поперечного сечения магнитного потока в нагреваемой детали, м^2; $w_м$ – число витков ленты нагрева, образованной в детали вихревыми токами; h – высота нагреваемой детали в магнитном поле, м; K_c – коэффициент соленоида, образованного вихревыми токами, зависящий от отношения диаметра нагреваемого цилиндра к его длине, $K_c \geq 1$.

Параметры индуктора:

– активное сопротивление $r_и$, Ом:

$$r_и = \rho_и \cdot \frac{l_{пр}}{F_{пр}}, \tag{8.6}$$

где $\rho_и$ – удельное электрическое сопротивление провода индуктора, Ом·м; $l_{пр}$ – длина индуктирующего элемента (провода), м; $F_{пр}$ – площадь поперечного сечения индуктирующего элемента (провода), м^2;

– индуктивное сопротивление $x_и$, Ом:

$$x_и = 2\pi \cdot f \cdot \frac{\mu_0 \cdot F_{иf} \cdot w_и^2}{h_и} \cdot K_и, \tag{8.7}$$

где μ_o – магнитная проницаемость вакуума, Гн/м; $F_{иf}$ – площадь сечения зазора между индуктором и нагреваемой деталью, м^2; $w_и$ – число витков

индуктора; $h_и$ – высота индуктора, м; $K_и$ – коэффициент соленоида, образованного индуктором.

Алгоритм расчёта индукторов промышленной частоты.

Определяются электрические параметры нагреваемого материала: активное сопротивление вихревым токам $r_м$ по (8.3) и индуктивное сопротивление $x_м$ (8.4), а также полное сопротивление материала $z_м$, Ом :

$$z_м = \sqrt{r_м + x_м}. \tag{8.8}$$

Действующее значение вихревого тока в нагреваемом теле $I_в$, А:

$$I_в = \sqrt{\frac{P_{тр}}{r_м}}, \tag{8.9}$$

где $P_{тр}$ – требуемая мощность нагрева, которую необходимо выделить в нагреваемой детали, которая определяется на основе уравнения теплового баланса, Вт.

Удельная ЭДС, приходящаяся на один виток, или ЭДС, обеспечивающая протекание требуемого вихревого тока, e, В/вит:

$$e = I_в \cdot z_м. \tag{8.10}$$

Ориентировочно число витков обмотки индуктора $w_и$, шт.:

$$w_и = \frac{U_и}{e}, \tag{8.11}$$

где $U_в$ – напряжение индуктора, В.

Ток индуктора (ориентировочный) $I_и$, А:

$$I_и = \frac{I_в}{w_и}. \tag{8.12}$$

Сечение провода индуктора по условиям нагрева $F_{пр}$, мм^2:

$$F_{пр} = \frac{I_и}{j_{доп}}, \tag{8.13}$$

где $j_{доп}$ – допустимая плотность тока для материала индуктирующего элемента, А/мм^2.

Чаще всего индуктирующий элемент выполняется из меди, реже – из алюминия.

Длина провода индуктора $l_{пр}$, м:

$$l_{пр} = w_и \cdot l_{вит}, \tag{8.14}$$

где $l_{вит}$ – длина одного витка обмотки, м.

При известном межвитковом расстоянии h, м, длина одного витка $l_{вит}$, м, определится по формуле

$$l_{вит} = \sqrt{(\pi \cdot D_u)^2 + h^2}, \tag{8.15}$$

где D_u – диаметр индуктора, м.

Принимая величина воздушного зазора между нагреваемым телом и индуктором a = 0,05 м. Диаметр индуктора D_u, м, находят по формуле

$$D_u = d + 2 \cdot a + d_{пр}, \tag{8.16}$$

где d – диаметр нагреваемой детали круглого сечения, м; $d_{пр}$ – диаметр провода индуктора, которая определяется по известному сечению индуктирующего элемента, м.

Определяются параметры r_u, x_u, z_u, Ом, обмотки индуктора по приведенным соотношениям.

Исходя из теории воздушного трансформатора, определяются приведённые параметры нагреваемого материала (детали):

$$r'_м = r_м \cdot w_u^2; \;\; x'_м = x_м \cdot w_u^2. \tag{8.17}$$

Действительный ток $I_{u(д)}$, А, в индукторе:

$$I_{u(д)} = \frac{U_u}{\sqrt{\left(x_u + x'_м\right)^2 + \left(r_u + r'_м\right)^2}}, \tag{8.18}$$

где U_u – напряжения индуктора, В.

Коэффициент мощности $cos\varphi$ индукционной нагревательной установки:

$$\cos\varphi = \frac{r_u + r'_м}{\sqrt{\left(x_u + x'_м\right)^2 + \left(r_u + r'_м\right)^2}}. \tag{8.19}$$

Из выражения (8.19) видно, что максимальное значение коэффициент мощности будет принимать при соотношении параметров системы «деталь-индуктор» $x = r$, то есть максимальный теоретически возможный коэффициент мощности индукционной нагревательной установки $cos\varphi$ = 0,707.

Коэффициент полезного действия индукционной нагревательной установки η:

$$\eta = \frac{r'_м}{r_u + r'_м}. \tag{8.20}$$

Алгоритм расчётов индукционных нагревателей средней и высокой частоты.

К индукционным нагревательным установкам средней частоты относятся установки, работающие в диапазоне частот f = 160…10000 Гц, высокой частоты – f > 10 кГц.

Выбор генератора высокочастотного излучения (ВЧИ) производится по монограммам удельной поверхностной мощности ΔP, Вт/см^2, индукционного нагрева в зависимости от предполагаемого графика подвода мощности в функции толщины закаливаемого слоя Δ, мм (рис. 8.2, 8.3).

Определяется средняя мощность $P_{ср}$, Вт, выделяющаяся в нагреваемой детали:

$$P_{ср} = \Delta P \cdot F_з, \tag{8.21}$$

где ΔP – принятое по номограммам оптимальное значение удельной поверхностной мощности, Вт/см^2; $F_З$ – площадь поверхности, подвергающаяся одновременному нагреву, закаливанию, см^2.

Мощность, потребляемая генератором из сети $P_г$, кВт:

$$P_г = \frac{P_{ср}}{\eta_и \cdot \eta_{тр} \cdot \eta_г}, \tag{8.22}$$

где $\eta_и$ – КПД индуктора; обычно принимается $\eta_и$ = 0,4…0,8 в зависимости от диаметра нагреваемых заготовок; $\eta_{тр}$ – КПД воздушного трансформатора; $\eta_{тр}$ = 0,7...0,9; $\eta_г$ – КПД ВЧИ генератора; $\eta_г$ = 0,7.

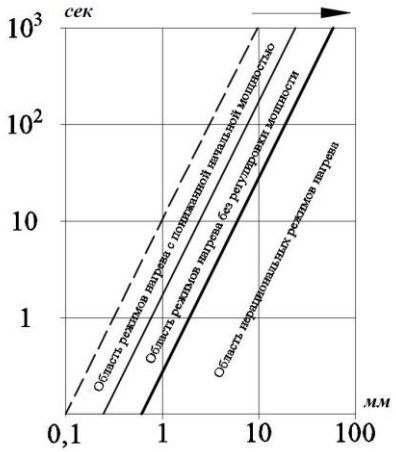


Рис. 8.2. Зависимость длительности нагрева τ, с, от толщины закаливаемого слоя Δ, мм

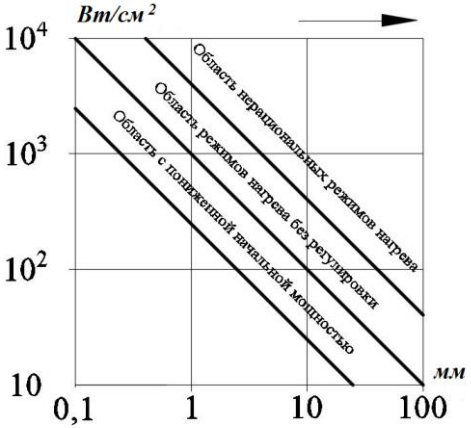


Рис. 8.3. Зависимость средней удельной поверхностной мощности ΔP, Вт/см^2, от толщины закаливаемого слоя Δ, мм

Выбор оптимальной частоты f, Гц, производится по двум условиям:

– по условию обеспечения высокого КПД, которому соответствует соотношение $\frac{R}{z_0} \geq (5...10)$:

$$f = 6 \cdot 10^6 \cdot \frac{\rho_м}{\mu_r \cdot R^2}, \qquad (8.23)$$

где $\rho_м$ – удельное электрическое сопротивление материала нагреваемой детали, Ом·м; μ_r – относительная магнитная проницаемость материала; R – радиус цилиндрической детали, м.

– по необходимой толщине закалённого слоя $\Delta_к$, м, в соответствии с чем должно соблюдаться условие $z_0=\Delta_к$, частота f, Гц:

$$f = 2{,}5 \cdot 10^5 \cdot \frac{\rho_м}{\Delta_к^2}. \qquad (8.24)$$

Эмпирические формулы, используемые на практике для определения частоты f, Гц:

– для деталей простейшей формы:

$$f = \frac{5 \cdot 10^4}{\Delta_к^2}; \qquad (8.25)$$

– для деталей сложной формы:

$$f = \frac{5 \cdot 10^5}{\Delta_к^2}; \qquad (8.26)$$

– для сквозного нагрева цилиндрических деталей диаметром d, м:

$$f = \frac{3 \cdot 10^6}{d^2}. \qquad (8.27)$$

В эмпирических формулах Δ и d следует выражать в миллиметрах.

Расчет индуктора начинается с определения длины ленты индуктора $l_и$, м:

$$l_и = \frac{U_и}{2\pi \cdot f \cdot \mu_0 \cdot a \cdot K_и} \cdot \sqrt{\frac{K_n}{\Delta P_{опт} \cdot 503}}, \qquad (8.28)$$

где $U_и$ – напряжение на индукторе, В; a – воздушный зазор между деталью и лентой индуктора, м; $K_и$ – соленоидный коэффициент индуктора.

Ширина ленты индуктора $b_и$, м:

$$b_и = \frac{F_з}{l_и}. \qquad (8.29)$$

Прочие конструктивные размеры рассчитываются, исходя из размеров и формы нагреваемой детали. Размеры индуктора описываются параметром al, м^2:

$$al = 1{,}78 \cdot 10^5 \cdot U_и \cdot \Delta P^{-\frac{1}{2}} \cdot [\rho \cdot \mu]^{1/4} \cdot f^{-\frac{3}{4}}. \qquad (8.30)$$

Для углеродистой стали в холодном состоянии ρ=10^{-5} Ом·см, μ=100; в нагретом до температуры 780…800°С состоянии ρ=10^{-4} Ом·см, μ=1. Тогда:

– для холодного состояния:

$$al = 3{,}18 \cdot 10^4 \cdot U_и \cdot \Delta P^{-\frac{1}{2}} \cdot f^{-\frac{3}{4}}; \qquad (8.31)$$

– для нагретого состояния:

$$al = 1{,}78 \cdot 10^4 \cdot U_и \cdot \Delta P^{-\frac{1}{2}} \cdot f^{-\frac{3}{4}}. \qquad (8.32)$$

Значение $U_и$ при поверхностной закалке находится в пределах 50…100 В, а при сквозном нагреве 100…250 В. Формулы (8.31) и (8.32) позволяют найти любую из входящих в них величин при известных других.

К показателям экономичности установок относятся:

– коэффициент полезного действия ВЧИ нагрева $\eta_и$:

$$\eta_u = \frac{1}{1 + \frac{R_u}{R_м} \cdot \sqrt{\frac{\rho_u}{\rho_м \cdot \mu_{rм}}}}, \tag{8.33}$$

$$\eta_{uмах} = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{\rho_u}{\rho_м \cdot \mu_{rм}}}}, \tag{8.34}$$

где R_u – радиус индуктора, м; $R_м$ – радиус нагреваемой детали, м; ρ_u – удельное сопротивление материала индуктора, Ом·м; $\rho_м$ – удельное сопротивление материала нагреваемой детали, Ом·м; μ_{ru} – относительная магнитная проницаемость материала детали;

– коэффициент мощности $cos\varphi$ индукционных нагревательных установок средней и высокой частот:

$$\cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(1 + \frac{a \cdot \sqrt{2}}{z_0 \cdot \mu_{aм}}\right)^2}}, \tag{8.35}$$

где a – воздушный зазор, м; z_0 – глубина проникновения электромагнитной волны в материал, м; μ_{au} – абсолютная магнитная проницаемость материала, Гн/м.

Так как коэффициент мощности индукционных нагревательных установок низок, а в процессе нагрева он может снизиться до $cos\varphi$ = 0,01…0,1, устанавливают компенсирующее устройство, емкость конденсаторов C, Ф, которого:

$$C = \frac{P \cdot \left(tg\varphi_1 - tg\varphi_2\right)}{2\pi \cdot f \cdot U_u^2}, \tag{8.36}$$

где P – активная мощность индуктора, Вт; φ_1 и φ_2 – угол сдвига между током и напряжением до и после компенсации.

8.2. Общие сведения из теории расчета установок диэлектрического нагрева

Диэлектрический нагрев – нагрев диэлектриков и полупроводников в переменном электрическом поле, под действием которого нагреваемый материал поляризуется. Диэлектрический нагрев применяется для сушки и нагрева материалов с низкой теплопроводностью: древесина, фрукты, овощи, чай, табак, зерновые культуры и др. Нагреваемый материал помещается между

обкладками высокочастотного конденсатора, то есть камерой нагрева является рабочий конденсатор.

Установки диэлектрического нагрева характеризуются удельной объемной мощностью ΔP_V, Вт/м^3, то есть мощностью, выделяемой в единице объема нагреваемого материала, которая определяется выражениями:

$$\Delta P_V = 5{,}56 \cdot 10^{-11} \cdot E^2 \cdot f \cdot \varepsilon_r \cdot tg\delta, \qquad (8.37)$$

или

$$\Delta P_V = 5{,}56 \cdot 10^{-11} \cdot E^2 \cdot f \cdot K_n, \qquad (8.38)$$

где E – напряженность электрического поля в диэлектрике, В/м; f – частота электрического поля, Гц; ε_r – относительная диэлектрическая проницаемость материала; $tg\delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь нагреваемого материала; K_n – коэффициент поглощения мощности материалом (фактор потерь диэлектрика).

Коэффициент поглощения мощности материалом K_n:

$$K_n = \varepsilon_r \cdot tg\delta. \qquad (8.39)$$

Параметры схемы замещения установки диэлектрического нагрева:

– емкостное сопротивление плоского рабочего конденсатора $X_к$, Ом:

$$X_к = \frac{1}{\omega \cdot C_к} = \frac{l}{2\pi \cdot f \cdot \varepsilon_0 \cdot F}, \qquad (8.40)$$

где ω – угловая частота переменного электрического поля, с$^{-1}$; $C_к$ – емкость конденсатора (воздушного), Ф; l – расстояние между обкладками конденсатора, м; ε_0 – электрическая постоянная, Ф/м; $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; F – площадь обкладки конденсатора, м^2;

– емкостное сопротивление, вносимое нагреваемым материалом $X_м$, Ом:

$$X_м = \frac{1}{\omega \cdot C_м} = \frac{l}{2\pi \cdot f \cdot (\varepsilon - 1) \cdot \varepsilon_0 \cdot F}, \qquad (8.41)$$

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость нагреваемого материала;

– активное сопротивление материала, определяемое по выделению теплоты в материале, $r_м$, Ом:

$$r_м = 1{,}8 \cdot 10^{10} \frac{l}{K_n \cdot f \cdot F}. \qquad (8.42)$$

Общая емкость установки диэлектрического нагрева C_y, Ф:

$$C_y = C_к + C_м = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{l}{F}. \quad (8.43)$$

Критическая частота при диэлектрическом нагреве материалов, при которой происходит срыв колебаний и снижение мощности нагрева, f_0, Гц:

$$f_0 = \frac{k \cdot T}{8\pi^2 \cdot R^3 \cdot \xi}, \quad (8.44)$$

где k – постоянная Больцмана, Дж/К; k=1,38·10^{-23} Дж/К; T – абсолютная температура нагрева, К; ξ – абсолютная вязкость материала, кг/(м·с); R – радиус полярной молекулы, м.

Выбор напряженности электрического поля E, В/м, производится с учетом значения напряженности электрического пробоя $E_{пр}$, В/м, диэлектрика:

$$E = \frac{E_{пр}}{1{,}5...2{,}0}. \quad (8.45)$$

Электрическая прочность при нагреве и сушке различных материалов, используемых в сельском хозяйстве, обычно не превышает 1,5…2,0 кВ/см.

Мощность преобразователя частоты определяется с учетом допустимой объемной мощности при ограничении скорости нагрева $\Delta P_{V\partial}$, Вт/м^3:

$$\Delta P_{V\partial} = \frac{\delta \cdot c}{\eta_к} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta \tau}, \quad (8.46)$$

где δ – плотность нагреваемого материала, кг/м^3; c – удельная массовая теплоемкость материала, кДж/(кг·°С); $\eta_к$ – КПД рабочего конденсатора; принимается $\eta_к$ = 0,8…0,9; $(\Delta t/\Delta\tau)$ – допустимая скорость изменения температуры диэлектрика, °С/с.

Допустимая объемная мощность при ограничении скорости испарения влаги (сушке) $\Delta P_{V\partial}$, Вт/м^3:

$$\Delta P_{V\partial} = \frac{w_{вл} \cdot a_п}{\eta_к} \cdot \frac{\Delta\varphi}{\Delta\tau \cdot 100}, \quad (8.47)$$

где $w_{вл}$– влагосодержание одного м^3 материала, кг/м^3; $a_п$ – удельная теплота испарения влаги (парообразования), кДж/кг; $(\Delta\varphi/\Delta\tau)$ – допустимая скорость изменения относительной влажности диэлектрика, %/с.

Мощность рабочего конденсатора (максимальная), $P_к$, кВт:

$$P_к = \Delta P_V \cdot V, \tag{8.48}$$

где V – объем нагреваемого материала, м^3.

Колебательная мощность генератора (парообразователя), $P_г$, кВт:

$$P_г = \frac{P_к}{\eta_э \cdot \eta_л}, \tag{8.49}$$

где $\eta_э$ – электрический КПД колебательного контура; $\eta_э$=0,65…0,7; $\eta_л$ – КПД линии, учитывающий потери в проводниках, соединяющих генератор с колебательным контуром; $\eta_л$=0,9…0,95.

Мощность, потребляемая генератором из сети, P, кВт:

$$P = \frac{P_н}{\eta_к \cdot \eta_э \cdot \eta_л \cdot \eta_г}, \tag{8.50}$$

где $\eta_г$ – КПД генератора; $\eta_г$ = 0,55…0,75.

Общий КПД диэлектрической нагревательной установки:

$$\eta_{общ} = \eta_к \cdot \eta_э \cdot \eta_л \cdot \eta_г. \tag{8.51}$$

В результате многократного преобразования энергии общий КПД установок диэлектрического нагрева оказывается довольно низким – 0,3…0,45, а удельный расход электрической энергии высоким.

Выбор частоты f, Гц, диэлектрического нагрева производится для двух режимов: нагрева и сушки сельскохозяйственной продукции.

Максимальное значение частоты по допустимой скорости нагрева f, Гц:

$$f = \frac{\delta \cdot c}{\eta_к} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta \tau} \cdot \frac{1}{5{,}56 \cdot 10^{-11} \cdot K_п \cdot E^2}, \tag{8.52}$$

где $K_п$ – коэффициент поглощения мощности материалом, так называемый фактор потерь диэлектрика.

Максимальное значение частоты по допустимой скорости испарения f, Гц:

$$f = \frac{w_{вл} \cdot a_п}{\eta_к} \cdot \frac{\Delta \varphi}{\Delta \tau \cdot 100} \cdot \frac{1}{5{,}56 \cdot 10^{-11} \cdot K_п \cdot E^2}. \tag{8.53}$$

Выбирается ближайшая меньшая из разрешенных в технике частот.

Расчет размеров камеры нагрева (рабочего конденсатора):

– объем камеры нагрева $V_к$, м^3, принимается на 20% больше объема нагреваемого материала:

$$V_к = 1{,}2 \cdot V; \tag{8.54}$$

– расстояние между обкладками конденсатора l, м:

$$l = \frac{V_к}{E}, \tag{8.55}$$

где E – напряженность электрического поля, В/м;

– площадь обкладок для плоского конденсатора F, м^2:

$$F = \frac{V_к}{l}. \tag{8.56}$$

Размеры сторон обкладок задаются произвольно, в зависимости от требований технологии.

Рассмотрим в качестве примера диэлектрического нагрева для сушки материалов процесс сушки зерна токами высокой частоты.

Удельная объемная мощность ΔP_V, Вт/м^3, необходимая для нагрева одного метра кубического материала:

$$\Delta P_V = 5{,}56 \cdot 10^{-11} \cdot E^2 \cdot f \cdot \varepsilon_r \cdot tg\delta. \tag{8.57}$$

Удельный расход электроэнергии ΔW_V, (кВт·ч)/(м^3·ч) для нагрева одного метра кубического материала в течение одного часа:

$$\Delta W_V = 5{,}56 \cdot 10^{-11} \cdot E^2 \cdot f \cdot \varepsilon_r \cdot tg\delta. \tag{8.58}$$

Удельный расход тепла Δq_V, кДж/(м^3·ч):

$$\Delta q_V = \frac{q_{прогр} + q_{исп}}{\eta_m}. \tag{8.59}$$

Расход тепла $q_{прогр}$, кДж/м^3, для прогрева единицы объема материала:

$$q_{прогр} = \delta_{пр} \cdot c_{пр} \cdot (t_к - t_н), \tag{8.60}$$

где $\delta_{пр}$ – плотность продукта кг/м^3; $c_{пр}$ – удельная теплоемкость влажного продукта, кДж/(кг·°С); $t_к$ – начальная температура продукта, °С; $t_н$ – конечная температура продукта, °С.

Расход тепла $q_{исп}$, кДж/м^3, на испарение свободной влаги:

$$q_{исп} = a_п \cdot \delta_{пр} \cdot \frac{\varphi_н - \varphi_к}{100 - w_к}, \tag{8.61}$$

где a_n – теплота испарения свободной влаги, кДж/кг, a_n=2760 кДж/кг; $\varphi_н$ – начальная влажность продукта, %; $\varphi_к$ – конечная влажность продукта, %; η_m – термический коэффициент полезного действия рабочего конденсата; η_m=0,7.

Расход электроэнергии ΔW_V, (кВт·ч)/м^3, на нагрев единицы объема продукта и испарение свободной влаги:

$$\Delta W_V = \frac{q_{прогр} + q_{исп}}{3600 \cdot \eta_m}. \quad (8.62)$$

Приравняем полученные выражения:

$$5{,}56 \cdot 10^{-11} \cdot E^2 \cdot f \cdot \varepsilon_r \cdot tg\delta = \frac{q_{прогр} + q_{исп}}{3600 \cdot \eta_m}. \quad (8.63)$$

Задача состоит в определении частоты электрического поля f, Гц и напряженности E, В/м.

Принимается частота в средневолновом диапазоне с длиной волны 300 м, когда f = 1 МГц и определяется нужная напряженность поля.

Из выражения расхода электроэнергии на единицу массы продукта расход электроэнергии на обработку одного килограмма ΔW_m, (кВт·ч)/кг:

$$\Delta W_m = \frac{\Delta W_V}{\delta_{пр}}. \quad (8.64)$$

Расход электроэнергии $\Delta W_{m\%}$, кВт·ч/кг, %

$$\Delta W_{m\%} = \frac{\Delta W_m}{\varphi_н - \varphi_к}. \quad (8.65)$$

Пусть производительность сушилки m', кг/ч, тогда потребная мощность $P_{потр}$, кВт на сушку:

$$P_{потр} = \frac{\Delta W_V \cdot m'}{\delta_{пр}}. \quad (8.66)$$

Мощность, потребляемая из сети, P, кВт:

$$P = \frac{P_{потр}}{\eta_{общ}}, \quad (8.67)$$

где $\eta_{общ}$ – общий коэффициент полезного действия высокочастотной установки; $\eta_{общ}$ = 0,5, который учитывает КПД лампового генератора, КПД колебательного контура.

Примеры решения задач

Задача 8.1. Рассчитать индуктор и выбрать высокочастотную установку для поверхностной закалки цилиндрических заготовок из углеродистой стали диаметром d = 30 мм и высотой h = 90 мм. Глубина закаливаемого слоя $\Delta_к$ = 1 мм, напряжение на индукторе $U_и$ = 100 В.

Решение

Рекомендуемая частота f, Гц:

$$f = \frac{5 \cdot 10^4}{\Delta_к^2} = \frac{5 \cdot 10^4}{1_к^2} = 5 \cdot 10^4 \text{ Гц}.$$

Ближайшая из применяемых в технике частот f=67 кГц.

По номограмме (рис. 8.3) выбирается оптимальная удельная поверхностная мощность ΔP = 400 Вт/см^2, находится параметр al, см^2 для холодного состояния:

$$al = 3{,}18 \cdot 10^4 \cdot U_и \cdot \Delta P^{-\frac{1}{2}} \cdot f^{-\frac{3}{4}} = 3{,}18 \cdot 10^4 \cdot \frac{100}{\sqrt{400}} \cdot \frac{1}{\sqrt[4]{\left(67 \cdot 10^3\right)^3}} = 38{,}2 \text{ см}^2.$$

Величина воздушного зазора принимается a=0,5 см, тогда диаметр индуктора $D_и$, см:

$$D_и = d + 2 \cdot a = 3 + 2 \cdot 0{,}5 = 4 \text{ см}.$$

Длина индуктирующего элемента $l_и$, см:

$$l_и = \frac{al}{a} = \frac{38{,}2}{0{,}5} = 76{,}4 \text{ см}.$$

Число витков индуктора, $w_и$, шт.:

$$w_и = \frac{l}{\pi \cdot D_и} = \frac{76{,}4}{3{,}14 \cdot 4} = 6.$$

Высота индуктора $h_и$, см:

$$h_и = (1...1{,}2) \cdot h = (1...1{,}2) \cdot 9 = 10 \text{ см}.$$

Колебательная мощность генератора $P_г$, кВт:

$$P_г = \frac{\Delta P \cdot \pi \cdot d \cdot h_и \cdot 10^{-3}}{\eta_{тр} \cdot \eta_и} = \frac{400 \cdot 3{,}14 \cdot 3 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{0{,}88 \cdot 0{,}66} = 64{,}8 \text{ кВт}.$$

Следует выбрать высокочастотную установку, имеющую колебательную мощность 63 кВт и рабочую частоту 67 кГц.

Задача 8.2. Определить коэффициент мощности высокочастотной установки для поверхностной закалки цилиндрических заготовок из углеродистой стали диаметром d = 30 мм и высотой h = 90 мм. Глубина закаливаемого слоя $\Delta_к$ = 1 мм, напряжение на индукторе $U_и$ = 100 В, ток индуктора $I_и$ = 3000 А, КПД индуктора $\eta_и$ = 0,66.

Решение

Коэффициент мощности можно определить по формуле

$$\cos\varphi = \frac{P_и}{U_и \cdot I_и}.$$

По номограмме (рис. 8.3) принимаем значение удельной мощности ΔP = 400 Вт/см^2.

Мощность, подводимая к индуктору:

$$P_и = \frac{\Delta P \cdot \pi \cdot d_з \cdot h_з}{\eta_и} = \frac{400 \cdot 3{,}14 \cdot 3 \cdot 9}{0{,}66} = 51381{,}8 \text{ Вт}.$$

Коэффициент мощности равен:

$$\cos\varphi = \frac{P_и}{U_и \cdot I_и} = \frac{51381{,}8}{100 \cdot 3000} = 0{,}171.$$

Задача 8.3. Определить мощность, необходимую для нагрева бруска пластмассы в установке диэлектрического нагрева. Брусок имеет размеры 60×300×100 мм и помещен в рабочую камеру диэлектрического нагрева. Относительная диэлектрическая проницаемость материала ε_r = 4; тангенс угла диэлектрических потерь $tq\delta$ = 0,03; частота электрического поля f = 40,68 МГц; напряженность электрического поля внутри бруска E = 0,8 кВ/см.

Решение

Плотность мощности в нагреваемой пластмассе:

$$\Delta P_V = 2\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot E^2 \cdot f \cdot \varepsilon_r \cdot tq\delta = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot (80000)^2 \cdot 40{,}68 \cdot 10^6 \cdot 4 =$$
$$= 1736381{,}2 \text{ Вт/м}^3 = 1736{,}3 \text{ кВт/м}^3.$$

Объем нагреваемого бруска:

$$V = 60 \cdot 10^{-3} \cdot 300 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 \cdot 10^{-3} = 0{,}0018 \text{ м}^3.$$

Мощность, потребляемая установкой из сети:

$$P = \Delta P_V \cdot V = 1736{,}3 \cdot 0{,}0018 = 3{,}1 \text{ кВт}.$$

Задача 8.4. Определить время нагрева бруска пластмассы в установке диэлектрического нагрева. Брусок пластмассы в форме параллелепипеда помещен в рабочую камеру для диэлектрического нагрева. Относительная диэлектрическая проницаемость материала $\varepsilon_r = 4$; тангенс угла диэлектрических потерь $tq\delta = 0{,}03$; частота электрического поля $f = 40{,}68$ МГц $= 40{,}68 \cdot 10^6$ Гц; напряженность электрического поля внутри бруска $E = 80000$ В/м; КПД рабочей камеры $\eta_к = 0{,}8$; плотность пластмассы $\delta = 2000$ кг/м^3; теплоемкость пластмассы $c = 2000$ Дж/(кг·°С). Начальная температура t_1=20 °С, конечная – t_2=100 °С.

Решение

Время нагрева бруска пластмассы от начальной температуры t_1 до конечной t_2 определим, используя уравнение энергетического баланса диэлектрического нагрева:

$$\frac{V \cdot \delta \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{\tau} = 2\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot E^2 \cdot f \cdot \varepsilon_r \cdot tq\delta \cdot V \cdot \eta_к,$$

или

$$\frac{\rho \cdot \delta \cdot (t_2 - t_1)}{\tau} = 2\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot E^2 \cdot f \cdot \varepsilon_r \cdot tq\delta \cdot \eta_к.$$

Время нагрева равно:

$$\tau = \frac{\delta \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{2\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot E^2 \cdot f \cdot \varepsilon_r \cdot tq\delta \cdot \eta_к} =$$

$$= \frac{2000 \cdot 2000 \cdot (100 - 20)}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot (80000)^2 \cdot 40{,}68 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 0{,}03 \cdot 0{,}8} = 230{,}4 \text{ с} =$$

$$= 3{,}8 \text{ мин}.$$

Задача 8.5. На ремонтном предприятии требуется нагреть пластмассовую заготовку от температуры $t_1 = 20$°С до температуры $t_2 = 80$°С в рабочем конденсаторе установки для диэлектрического нагрева. Желаемое время нагрева $\tau = 1$ мин. Частота электрического поля $f = 40{,}68$ МГц. Свойства пластмассы: плотность $\delta = 1900$ кг/м^3, удельная теплоемкость $c = 2100$ Дж/кг·°С, относительная диэлектрическая проницаемость $\varepsilon_r = 6$, тангенс угла диэлектрических потерь $tq\delta = 0{,}05$. Чему должна быть равна напряженность электрического поля в нагреваемом материале?

Решение

Полезный тепловой поток (полезную тепловую мощность) можно определить по формуле

$$\Phi_n = \frac{m \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{\tau} = \frac{V \cdot \delta \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{\tau}.$$

Однако полезный поток можно также выразить и через мощность $P_к$, выделяемую в рабочем конденсаторе (т.е. в нагреваемом материале):

$$\Phi_n = P_к \cdot \eta_к.$$

Тепловой КПД рабочего конденсатора примем равным $\eta_к = 0{,}9$ (по справочным данным). Мощность $P_к$, выделяемую в рабочем конденсаторе (т.е. в нагреваемом материале), можно определить через удельную объемную мощность P_v (Вт/м^3), выделяемую в нагреваемом диэлектрике:

$$P_к = \Delta P_V \cdot V.$$

Удельная объемная мощность в свою очередь может быть найдена как

$$\Delta P_V = 2\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot E^2 \cdot f \cdot \varepsilon_r \cdot tq\delta.$$

Приравняв полученные ранее выражения для полезного теплового потока (полезной тепловой мощности) получим:

$$\frac{V \cdot \delta \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{\tau} = 2\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot E^2 \cdot f \cdot \varepsilon_r \cdot tq\delta \cdot V \cdot \eta_к.$$

Получаем, что напряженность электрического поля в нагреваемом материале равна:

$$E = \sqrt{\frac{\delta \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{2\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot f \cdot \varepsilon_r \cdot tq\delta \cdot \eta_к \cdot \tau}} =$$

$$= \sqrt{\frac{1900 \cdot 2100 \cdot (80 - 20)}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 40{,}68 \cdot 10^6 \cdot 6 \cdot 0{,}05 \cdot 0{,}9 \cdot 60}} = 0{,}81 \cdot 10^5 \frac{В}{м} = 0{,}81 \frac{кВ}{см}.$$

Контрольные задания

1. Определить время нагрева детали в установке индукционного нагрева. Начальная температура 300 К, конечная – 500 К. Количество заготовок, нагреваемых в индукторе, 8, каждая массой 0,9 кг. Средняя удельная теплоёмкость материала заготовок в этом интервале температур 18,7 Дж/(кг·К). Коэффициент полезного действия индуктора 0,8;

КПД конденсаторной батареи 0,78; КПД линии 0,84; КПД источника питания 0,9.

2. Рассчитать индукционную нагревательную установку промышленной частоты, представляющую собой трубу из стали с диаметром d = 0,05 м, толщиной стенки Δ = 2,5 мм, удельным сопротивлением ρ_{20} = 0,7·10^{-6} Ом·м, относительной магнитной проницаемостью μ_r = 100, через которую подается вода с начальной температурой t_1 = 2°С, нагреваемая до температуры t_2 = 50°С, при подаче L = 50 кг/ч. Допустимая плотность тока в индукторе $j_{доп}$ = 5 А/мм^2. Начертить схему замещения и векторную диаграмму индукционной нагревательной установки. Термический КПД установки η_m = 0,6. Длина трубы, на которой выполнена намотка индуктора, h_u = 1 м.

3. Индукционная нагревательная установка, выполненная в виде однослойной обмотки, наложена на водопроводную трубу диаметром d = 0,04 м. Толщина стенки трубы Δ = 2 мм. Воздушный зазор между трубой и обмоткой a = 1 мм. Число витков обмотки w_u = 200 витков. Напряжение питания U = 220 В. Металл трубы имеет удельное сопротивление ρ_{20} = 1,5·10^{-6} Ом·м, относительная магнитная проницаемость μ_r = 250. Частота питающего тока f = 50 Гц. Определить при какой подаче вода будет нагреваться на Δt = 40°С, если известен КПД установки η_m = 0,85. Плотность тока в обмотке j = 7,5 А/мм^2. Построить векторную диаграмму.

4. Рассчитать индуктор для высокочастотной поверхностной закалки цилиндрических деталей диаметром d = 0,1 м. Удельное сопротивление материала ρ_{20} = 1,9·10^{-6} Ом·м, магнитная проницаемость μ_r = 100, требуемая толщина закаливаемого слоя Δ = 5 мм. Частоту выбрать из условий $x_к$=z_0 и R/z_0=10. Воздушный зазор a = 3 мм. Напряжение на индукторе U_u = 100 В. Определить площадь одновременно закаливаемой поверхности F_3, м^2, если известна потребляемая индуктором мощность P_u = 20 кВт.

5. Определить мощность, выделяющуюся в диэлектрике между обкладками конденсатора, если известно, что ток смещения $I_{см}$=30 А и ток проводимости $I_{пр}$=20 А. Размеры пластин конденсатора: a = 0,5 м; b = 0,3 м. Напряжение, прикладываемое к пластинам, U = 380 В, емкость конденсатора C=0,8·10^{-5} Ф, а расстояние между пластинами l = 0,1 м.

6. Рассчитать установку диэлектрического нагрева для размораживания пищевых продуктов массой m = 1 кг, влажностью φ = 70%, начальная температура t_1= –10°С, конечная температура продукта t_2 = 10°С. Удельная теплоемкость продукта c = 2,8 кДж/(кг·ºС), удельная теплота плавленая льда $a_{пл}$ = 334 кДж/кг; время размораживания τ = 5 мин, допустимая напряженность электрического поля $E_{доп}$ = 5 кВ/см; КПД – η = 0,5.

7. Известны размеры камеры нагрева: d = 0,05 м, b = 0,2 м, h = 0,05 м, в которой осуществляется пастеризация молока с нагревом его от t_1 = 10°С до t_2 = 75°С. Требуемая производительность установки L = 120 кг/ч.

Определить мощность и частоту генератора ВЧ, если известны допустимая напряженность электрического поля $E_{доп}$= 1,2 кВ/см, плотность молока δ = 985 кг/м^3, его удельная теплоемкость c = 4 кДж/(кг·ºС), диэлектрическая проницаемость (относительная) ε_r = 75 и тангенс угла диэлектрических потерь tg = 0,023.

8. Определить мощность, выделяемую в рабочем конденсаторе при нагреве деревянного блока площадью F = 2 м^2 и толщиной Δ = 0,05 м. Относительная диэлектрическая проницаемость дерева ε_r = 6; тангенс угла диэлектрических потерь $tg\delta$ = 0,25; частота f = 300 МГц; напряженность поля E = 20 кВ/м.

Контрольные вопросы

1. Какова физическая природа индукционного нагрева?
2. Для каких тепловых процессов перспективно использование токов высокой частоты?
3. Назначение, классификация и конструктивное исполнение индукторов.
4. Основные характеристики системы «индуктор-изделие».
5. Почему электрический КПД установок индукционного нагрева достаточно низок?
6. От каких параметров зависит коэффициент полезного действия установок индукционного нагрева?
7. Что такое поверхностная мощность при индукционном нагреве?
8. Как осуществляется выбор частоты индукционного нагрева?
9. В чем заключается задача расчета индуктора?
10. Как рассчитать мощность индуктора?
11. Как определить количество витков, диаметр и высоту индуктора?
12. Что такое и как определяется глубина проникновения тока?
13. Факторы, влияющие на глубину проникновения электромагнитной волны в проводник.
14. В каких технологических процессах целесообразно применение диэлектрического нагрева?
15. Объясните механизм процесса высокочастотной сушки полупроводниковых материалов и перечислите преимущества этого метода.
16. Объясните физическую сущность нагрева полупроводников и диэлектриков в электрическом поле высокой частоты.
17. Каким образом может быть осуществлен селективный нагрев неоднородного диэлектрика в электрическом поле высокой частоты?
18. В чем заключаются условия правильного выбора частоты электрического поля при диэлектрическом нагреве?
19. От каких параметров зависит удельная объемная мощность при диэлектрическом нагреве? По какому признаку осуществляется классификация установок диэлектрического нагрева?

9. Расчет и выбор электротермических установок, используемых в сельскохозяйственном производстве

9.1. Общие сведения об электротермических установках сельскохозяйственного назначения

Электротермические установки имеют довольно сложное оборудование, включающее в себя: электрические печи, плазменные реакторы, нагревательные установки, приборы промышленного, коммунального и бытового назначения и т.п. Электротермические установки применяют в следующих случаях: 1) если технологический процесс нельзя осуществить без электротермии (в этом случае целесообразность определяется технологическими требованиями и качеством получаемой продукции как в промышленности, так и в сельском хозяйстве); 2) можно получить продукцию более высокого качества; 3) улучшаются условия труда, повышается безопасность обслуживающего персонала; 4) достигается снижение себестоимости (благодаря более высокой производительности труда) или уменьшение капитальных затрат, включая затраты в смежных отраслях производства. Агропромышленный сектор представляет собой крупного потребителя тепловой энергии, основная часть которой тратится на различные технологические нужды. Низкотемпературный электронагрев является наиболее распространенным в сельском хозяйстве.

Сельскохозяйственным предприятиям, как объектам теплоснабжения, присущи характерные особенности, к которым в первую очередь следует отнести: 1) низкую плотность тепловых нагрузок и большую рассредоточенность потребителей, что обуславливает широкое распространение децентрализованных систем теплоснабжения; 2) большую неравномерность нагрузки и малый коэффициент использования её максимума, что сопровождается перерасходом топлива в периоды провалов нагрузки; 3) недопустимость резких колебаний параметров микроклимата для нормального содержания и развития животных, птиц и растений.

Широкое применение электроэнергии для электрификации тепловых процессов сдерживается недостаточной мощностью электрических станций и пропускной способностью сельских сетей, ограниченной номенклатурой и объемом выпускаемого электротермического оборудования, а также не всегда грамотным решением вопросов применения электрического нагрева, что не позволяет получить от электронагрева максимальный экономический эффект. Инженерные расчеты показывают, что в случае рассредоточенности сельскохозяйственных объектов по достаточно большой территории, когда длина тепловых сетей более 0,5…0,6 км, а тепловая нагрузка не превышает 4000 кДж/м, экономически целесообразно применять местные (встроенные) котельные с источниками тепла малой производительности. Исходя из сказанного более целесообразно превращать электрическую энергию в тепловую децентрализовано, максимально приблизив этот процесс к потребителю. До недавнего времени считалось, что электронагрев сопровождается перерасходом энергетических ресурсов из-за потерь при двукратном преобразовании энергии топлива, то есть сначала в электрическую на электростанции, а затем в тепловую в электротермической установке. Однако в результате всесторонних исследований установлено, что при электронагреве первичные энергоресурсы, наоборот, часто экономятся.

Круг вопросов, которые должны решаться при выборе оптимального варианта электротеплоснабжения, кроме традиционных технологических, технических и экономических, включает также вопросы, связанные с изменением качества и количества производимой сельхозпродукции при различных системах теплоснабжения. Кроме того, необходимо учитывать технологические, социальные и экологические аспекты широкой электрификации тепловых процессов в сельском хозяйстве.

Повышается продуктивность животноводства и птицеводства, снижается падеж животных и удельный расход кормов. При технико-экономическом сравнении вариантов теплоснабжения необходимо учитывать эффект, который дает более «гибкий» энергоноситель – электричество. Отечественный и зарубежный опыт эксплуатации электроотопительных установок показывает, что использование электрической энергии позволяет с большой точностью поддерживать необходимые микроклиматические условия в помещениях; на 15...20% увеличить суточные приросты массы при

откорме скота, снизить на 20...25% расход кормов; снизить на 10...15% падеж молодняка и увеличить на 30% яйценоскость кур. Быт сельских жителей приближается к городскому с точки зрения повышения комфортности, уменьшения трудозатрат и зависимости от особенностей традиционных систем теплоснабжения.

Использование тепловых нагрузок в качестве потребителей – регуляторов электрических графиков нагрузки – является чрезвычайно эффективным. В сельском хозяйстве коэффициенты использования установленной мощности и коэффициенты заполнения суточных графиков весьма низки как в зимнее, так и в летнее время. Применение электрической энергии в тепловых процессах способствует выравниванию графика общего электропотребления хозяйств и лучшему использованию электросетевого оборудования, тем более, что инструкция РД 34.26.103 «Инструкция о порядке согласования применения электрокотлов и других электронагревательных приборов» устанавливает, что электрические нагревательные установки должны работать, как правило, в часы провалов графиков нагрузок энергосистемы, в основном в ночное время, и по возможности комплектоваться тепловыми аккумуляторами.

При электротеплоснабжении уменьшается стоимость передачи электрической энергии от районной подстанции к потребителю с увеличением электропотребления в хозяйствах.

Та же инструкция РД 34.26.103 устанавливает, что мелким сельскохозяйственным потребителям производственного назначения с общей площадью помещений до 100 м^2 (вагоны-бытовки, чабанские домики, мастерские, конторы складов, насосные артезианские скважины, станции орошения, очистные сооружения, автозаправочные станции и др.), удаленным от источников тепла на 600 м и более с общей установленной мощностью электронагревательных приборов до 30 кВт включительно разрешается использовать электроэнергию для отопления и горячего водоснабжения, а энергонадзорным органам выдавать разрешения без представления технико-экономического обоснования.

Для осуществления тепловых технологических процессов спроектировано и разработано необходимое, достаточно большое количество различного типа теплоэнергетического оборудования – топливного и электротеплового, на базе которых формируются системы теплообеспечения. Однако производство и поставка отечественного теплоэнергетического оборудования и обеспечен-

ность им производственных объектов (в частности, животноводческих ферм) весьма низкая и составляет менее 40%.

Примеры решения задач

Задача 9.1. Выбрать электрический водонагреватель и теплоаккумулирующую емкость мини-котельной сельскохозяйственного объекта, теплопотребление которого задано следующими данными (Φ_{max} – максимальный тепловой поток, Φ_{max}= 100 кВт), представленными в таблице 9.1.

Таблица 9.1

Относительное теплопотребление в зависимости от интервала времени

Показатели	*i* интервал времени							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Относительное теплопотребление $K_i = \Phi_i/\Phi_{max}$	0,25	0,4	0,7	1,0	0,5	0,35	0,8	0,2
Интервал времени τ, ч	3,4	3,6	2,0	3,2	3,0	4,4	3,2	1,2

Коэффициент запаса $k_з$=1,1; КПД нагревателя $\eta_н$=0,96; КПД аккумулятора $\eta_{ак}$=0,94; время разрешенной работы водонагревателя $\tau_{зар}$=6 ч; начальная температура воды t_1=10°С, конечная – t_2=95°С. Плотность воды δ=1000 кг/м^3; удельная теплоемкость воды c=4,19 (кДж/кг·°С). Определить мощность и тип электрического водонагревателя, вместимость теплоаккумулирующего бака, пределы необходимого регулирования мощности нагревателя.

Решение

Мощность водонагревателя для зарядки аккумулирующей емкости найдем по формуле

$$P_н = \frac{k_з \cdot \left(\sum_{i=1}^{8} \Phi_i \cdot \tau_i\right)}{\eta_н \cdot \eta_{ак} \cdot \tau_{зар}} = \frac{k_з \cdot (K_1 \cdot \Phi_{max} \cdot \tau_1 + K_2 \cdot \Phi_{max} \cdot \tau_2 + K_3 \cdot \Phi_{max} \cdot \tau_3 + K_4 \cdot \Phi_{max} \cdot \tau_4 +}{\eta_н \cdot \eta_{ак} \cdot \tau_{зар}}$$

$$\frac{+ K_5 \cdot \Phi_{max} \cdot \tau_5 + K_6 \cdot \Phi_{max} \cdot \tau_6 + K_7 \cdot \Phi_{max} \cdot \tau_7 + K_8 \cdot \Phi_{max} \cdot \tau_8)}{} = \frac{1{,}1 \cdot (85+144+140+}{0{,}96 \cdot 0{,}94 \cdot 6}$$

$$\frac{+ 320+150+154+256+24)}{} = \frac{1{,}1 \cdot 1273}{0{,}96 \cdot 0{,}94 \cdot 6} = 259{,}3 \text{ кВт}.$$

Принимаем мощность водонагревателя $P_{ном}$=250 кВт и тип водонагревателя – электродный ЭПЗ-250 (табл. П. 24).

Определяем вместимость бака-аккумулятора, воспользовавшись выражением:

$$V_{ак}=\frac{k_з\cdot\left(\sum_{i=1}^{8}\Phi_i\cdot\tau_i\right)\cdot 3600}{\eta_н\cdot\eta_{ак}\cdot\delta\cdot c\left(t_2-t_1\right)}=\frac{1{,}1\cdot 1273\cdot 3600}{0{,}96\cdot 0{,}94\cdot 1000\cdot 4{,}19\cdot\left(95-10\right)}=15{,}6\ \text{м}^3.$$

Выбор конкретного водонагревателя осуществляют не только по мощности, но и по производительности:

$$П=\frac{V_{ак}}{\tau_{зар}}=\frac{15{,}6}{6}=\frac{15600}{21600}=0{,}72\ \text{л/с}.$$

Необходимая производительность составляет 0,72 л/с, а водонагреватель по паспортным данным может обеспечить 2,4 л/с, что удовлетворяет поставленным условиям.

Находим коэффициенты регулирования мощности:

$$P_{нм1}=\frac{P_{нmax}}{P_{ном}}=\frac{259{,}3}{250}=1{,}04,$$

мощность нагревателя при этом $P_н$=104%·$P_{ном}$:

$$P_{нм2}=\frac{P_{нmin}}{P_{ном}}=\frac{P_8}{P_{ном}}=\frac{22{,}9}{250}=0{,}09,$$

где $P_{нmin}$ – мощность соответствующая 8-му интервалу времени:

$$P_8=\frac{k_з\cdot\Phi_8}{\eta_н}=\frac{1{,}1\cdot 100\cdot 0{,}2}{0{,}96}=22{,}9\ \text{кВт},$$

мощность нагревателя при этом $P_н$= 9%·$P_{ном}$.

Таким образом, мощность нагревателя может изменяться от 9% до 104%·$P_{ном}$, что должно обеспечиваться соответствующим регулятором.

Задача 9.2. В процессе работы проточного элементного водонагревателя ЭВ-Ф-15 прекратилась подача воды. Определить сколько пройдет времени, когда вода внутри нагревателя закипит. По паспортным данным мощность водонагревателя $P_{ном}$= 15 кВт; вместимость V = 15 л; КПД нагревателя $\eta_н$= 0,96; температура воды на выходе нагревателя t_1 = 80°С; коэффициент запаса $k_з$ = 1,1;

температура закипания воды $t_2 = 100°C$; удельная теплоемкость воды c = 4190 (Дж/кг·°С); плотность воды δ = 1 кг/л.

Решение

Определим промежуток времени, по истечении которого вода внутри водонагревателя закипит:

$$\tau = \frac{k_з \cdot (V \cdot \rho) \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{\eta_н \cdot P_{ном}} = \frac{1{,}1 \cdot (15 \cdot 1) \cdot 4190 \cdot (100 - 80)}{0{,}96 \cdot 15000} = 96\,\text{с} =$$

$$= 1{,}6 \text{ мин.}$$

Задача 9.3. Определить сколько времени потребуется для того, чтобы в непроточном режиме нагреть воду в электроводонагревателе САОС-400 от 10 до 90°С. По паспортным данным мощность водонагревателя $P_{ном}$ = 12 кВт; вместимость V = 400 л; КПД нагревателя $\eta_н$ = 0,97; коэффициент запаса $k_з$ = 1,1; температура закипания воды $t_2 = 100°C$; удельная теплоемкость воды c = 4190 (Дж/кг·°С); плотность воды δ = 1 кг/л.

Решение

Определим время нагрева воды в водонагревателе от 10 до 90°С:

$$\tau = \frac{k_з \cdot (V \cdot \rho) \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{\eta_н \cdot P_{ном}} = \frac{1{,}1 \cdot (400 \cdot 1) \cdot 4190 \cdot (90 - 100)}{0{,}97 \cdot 12000} = 12671\text{с} = 3{,}5 \text{ ч.}$$

Задача 9.4. Необходимо выбрать электрический паровой котел для тепловых нужд коровника на 200 дойных коров, имеющего молочный и кормоприготовительный цехи.

При выборе электрического парового котла для указанного коровника считаем, что одновременно происходят следующие тепловые процессы: запаривание смешанных кормов в кормозапарниках общей производительностью 500 кг/ч; подогрев технологической воды – 200 л/ч; пропаривание молочных фляг – 20 шт./ч; отопление молочного и кормоприготовительного цехов объемом 300 м^3. Теплосодержание пара (при давлении 200 кПа) $g_п$=2690 кДж/кг; теплосодержание конденсата (при температуре +90°С) $\lambda_к$=380 кДж/кг.

Решение

Учтя нормы расхода пара, определяем потребную часовую паропроизводительность в различных технологических процессах.

Таблица 9.2

Нормы расхода пара

Процессы	Удельный расход пара, кг/кг
Запаривание 1 кг:	
корнеклубнеплодов	0,16-0,20
измельченной соломы	0,40-0,50
смешанных кормов	0,30-0,40
Варка зерновых, на 1 кг	0,12-0,15
Пастеризация молока, на 1 кг	0,12-0,15
Отопление 1 м^3 помещения кормоцеха и молочной в сутки	0,50-0,75
Пропаривание одной молочной фляги	0,20-0,25
Нагрев 1 л воды от 10 до 90 °С	0,18-0,20

Суммарная потребность в паре:

$$G = 0{,}4 \cdot 500 + 0{,}2 \cdot 200 + 0{,}25 \cdot 20 + \frac{0{,}75 \cdot 300}{24} = 254{,}4 \text{ кг/ч.}$$

Мощность парового электрокотла определяем по формуле

$$P_н = \frac{G \cdot (g_п - \lambda_к)}{3600} = \frac{254{,}4 \cdot (2690 - 380)}{3600} = 163 \text{кВт.}$$

Для удовлетворения нужд коровника выбираем электродный парогенератор ЭЭП-250И1 (табл. П. 26) мощностью 250 кВт, паропроизводительностью до 315 кг/ч. При небольшой экономии может быть принят парогенератор ЭЭП-160И1 мощностью 160 кВт, паропроизводительностью 200 кг/ч.

Задача 9.5. Рассчитать электрокалориферную установку. В электрокалорифере имеется две секции трубчатых нагревателей. В каждой секции шесть одинаковых ТЭНов, соединенных в схему «звезда» с искусственным нулем. Причем каждый луч «звезды» состоит из двух последовательно включенных ТЭНов. Напряжение питания 380/220 В. Диаметр провода каждого ТЭНа $d_{пр}$= 0,5 мм; длина провода $l_{пр}$= 5,66 м; материал провода – нихром с ρ_{20}=1,1·10^{-6} Ом·м; теплоемкость воздуха c=1000 (Дж/кг·°С), его плотность δ=1,2 кг/м^3.

Определить подачу воздуха через электрокалорифер, если температура воздуха на входе в калорифер $t_{вх}$= –15°С, а на выходе – $t_{вых}$= 50°С.

Решение

Электрическое сопротивление спирали ТЭНа:

$$R = \rho_{20} \cdot \frac{4 \cdot l_{пр}}{\pi \cdot d_{пр}} = 1{,}1 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{4 \cdot 5{,}66}{3{,}14 \cdot \left(0{,}5 \cdot 10^{-3}\right)^2} = 31{,}72 \text{ Ом}.$$

Сопротивление на фазу каждой секции:

$$R_{ф} = 2 \cdot R = 2 \cdot 31{,}72 = 63{,}44 \text{ Ом}.$$

Мощность на фазу каждой секции:

$$P_{ф} = \frac{U_{ф}^2}{R_{ф}} = \frac{220^2}{63{,}44} = 763 \text{ Вт}.$$

Суммарная мощность секции:

$$P_{c} = 3 \cdot P_{ф} = 3 \cdot 763 = 2289 \text{ Вт}.$$

Общая мощность электрокалориферной установки:

$$P_{эку} = 2 \cdot P_{c} = 2 \cdot 2289 = 4578 \text{ Вт}.$$

Полезный тепловой поток электрокалорифера:

$$Ф_{пол} = P_{эку} \cdot \eta_{эку} = 4578 \cdot 0{,}95 = 4349 \text{ Вт}.$$

Объемную подачу воздуха найдем по формуле

$$L = \frac{Ф_{пол}}{\delta \cdot c \cdot \left(t_{вых} - t_{вх}\right)} = L = \frac{4349}{1{,}2 \cdot 1000 \cdot \left(50 + 15\right)} = 0{,}0558 \text{ м}^3/\text{с} =$$

$$= 200{,}8 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Контрольные задания

1. Выбрать электрический водонагреватель и теплоаккумулирующую емкость мини-котельной сельскохозяйственного объекта, теплопотребление которого задано следующими данными ($Ф_{max}$ – максимальный тепловой поток, $Ф_{max}$=80 кВт), представленными в таблице 9.3.

Таблица 9.3

Относительное теплопотребление в зависимости от интервала времени

Показатели	*i* интервал времени							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Относительное теплопотребление $K_i = Ф_i/Ф_{max}$	0,2	0,45	0,8	0,9	0,5	0,4	0,8	0,15
Интервал времени τ, ч	3,2	3,8	2,2	3,0	3,2	4,2	3,0	1,4

Коэффициент запаса $k_з$=1,1; КПД нагревателя $\eta_н$=0,96; КПД аккумулятора $\eta_{ак}$= 0,93; время разрешенной работы водонагревателя $\tau_{зар}$= 6 ч;

начальная температура воды $t_1 = 12°C$, конечная – $t_2 = 90°C$. Плотность воды $\delta = 1000$ кг/м^3; удельная теплоемкость воды $c = 4{,}19$ (кДж/кг·°С).

Определить мощность и тип электрического водонагревателя, вместимость теплоаккумулирующего бака, пределы необходимого регулирования мощности нагревателя.

2. В процессе работы проточного элементного водонагревателя ЭВП-2А прекратилась подача воды. Определить сколько пройдет времени, когда вода внутри нагревателя закипит. По паспортным данным мощность водонагревателя $P_{ном} = 10{,}5$ кВт; вместимость $V = 12$ л; КПД нагревателя $\eta_н = 0{,}96$; температура воды на выходе нагревателя $t_1 = 95°C$; коэффициент запаса $k_з = 1{,}1$; температура закипания воды $t_2 = 100°C$; удельная теплоемкость воды $c = 4{,}19$ (кДж/кг·°С); плотность воды $\delta = 1$ кг/л.

3. Определить сколько времени потребуется для того, чтобы в непроточном режиме нагреть воду в электроводонагревателе УАП-800 от 10 до 95°С. По паспортным данным мощность водонагревателя $P_{ном} = 18$ кВт; вместимость $V = 800$ л; КПД нагревателя $\eta_н = 0{,}97$; коэффициент запаса $k_з = 1{,}1$; температура закипания воды $t_2 = 100°C$; удельная теплоемкость воды $c = 4{,}19$ (кДж/кг·°С); плотность воды $\delta = 1$ кг/л.

4. Необходимо выбрать электрический паровой котел для тепловых нужд коровника на 250 дойных коров, имеющего молочный и кормоприготовительный цехи.

При выборе электрического парового котла для указанного коровника считаем, что одновременно происходят следующие тепловые процессы: запаривание смешанных кормов в кормозапарниках общей производительностью 600 кг/ч; подогрев технологической воды – 250 л/ч; пропаривание молочных фляг – 25 шт./ч; отопление молочного и кормоприготовительного цехов объемом 400 м^3. Теплосодержание пара (при давлении 200 кПа) $g_п = 2690$ кДж/кг; теплосодержание конденсата (при температуре +90°С) $\lambda_к = 380$ кДж/кг.

5. Рассчитать электрокалориферную установку. В электрокалорифере имеется две секции трубчатых нагревателей. В каждой секции шесть одинаковых ТЭНов, соединенных в схему «звезда» с искусственным нулем. Причем каждый луч «звезды» состоит из двух последовательно включенных ТЭНов. Напряжение питания 380/220 В. Диаметр провода каждого ТЭНа $d_{пр} = 0{,}6$ мм; длина провода $l_{пр} = 5{,}3$ м; материал провода – нихром с $\rho_{20} = 1{,}1 \cdot 10^{-6}$ Ом·м; теплоемкость воздуха $c = 1000$ (Дж/кг·°С), его плотность $\delta = 1{,}2$ кг/м^3.

Определить подачу воздуха через электрокалорифер, если температура воздуха на входе в калорифер $t_{вх} = -17°C$, а на выходе – $t_{вых} = 55°C$.

Контрольные вопросы

1. В каких случаях применяют электротермические установки?
2. Поясните, какие характерные особенности присущи сельскохозяйственным предприятиям, как объектам теплоснабжения.
3. Охарактеризуйте технические параметры водонагревателей типа ЭПЗ-25-И6М; ЭПЗ-60-И6М; ЭПЗ-100-И6М; ЭПЗ-250-И3М и ЭПЗ-400-И3М.
4. Как определить объем бака-аккумулятора для электрокотельной?
5. Охарактеризуйте технические параметры проточных элементных водонагревателей типа: ЭВ-Ф-15, ЭВП-2А и ВЭП-600.
6. Охарактеризуйте технические параметры электродных парогенераторов КЭПР-160/0,4; КЭПР-250/0,4; ЭЭП-160И1; ЭЭП-250И1 и ЭЭП-400И1.
7. Приведите методику выбора электрокалориферной установки
8. Охарактеризуйте технические характеристики электрокалориферных установок ЭКОЦ (СФОЦ).

Термины и определения электротермии

В электротермии, как и в любой другой прикладной науке, имеется определённая, узаконенная соответствующими стандартами (ГОСТ 22622-77, ГОСТ 16382-87, СТ МЭК 50 (841)-83), система терминов и определений.

Диэлектрический нагрев – электронагрев неэлектропроводящей загрузки токами смещения при поляризации.

Дуговой нагрев – электронагрев загрузки электрической дугой.

Индуктор электронагревателя (печи) – конструктивный узел, включающий индуктирующий провод.

Индукционный нагрев – электронагрев электропроводящей загрузки электрическими токами, которые индуцируются переменным магнитным полем.

Инфракрасный нагрев – электронагрев инфракрасным излучением при условии, что излучательные спектральные характеристики излучателя соответствуют поглощательным характеристикам нагреваемой загрузки.

Ионный нагрев – электронагрев загрузки потоком ионов, образованным электрическим разрядом в вакууме.

Камера для нагрева – конструктивный элемент электропечи (электротермической установки), ограничивающий пространство, в котором осуществляется электротермический процесс.

Косвенный электронагрев – процесс, при котором тепло выделяется в нагревателе и передаётся загрузке теплообменом.

Лазерный нагрев – электронагрев за счёт последовательного преобразования электрической энергии в энергию лазерного излучения и затем в тепловую в облучаемой загрузке.

Нагрев сопротивлением – электронагрев за счёт электрического сопротивления электронагревателя или загрузки.

Нагрев токами сверхвысокой частоты – электронагрев, при котором тепло в основном генерируется молекулярным движением и ионной проводимостью в неэлектропроводном материале под действием электромагнитных волн в диапазоне частот между 300 МГц и 300 ГГц (длины волн от 1 м до 1 мм).

Нагревательный кабель (провод) – кабель (провод) с жилами высокого электрического сопротивления, предназначенный для обогрева различных объектов.

Нагревательный элемент – деталь, съёмная или несъёмная, содержащая нагревательный проводник и приспособления, которые образуют самостоятельное устройство.

Плазменный нагрев – электронагрев загрузки стабилизированным высокотемпературным ионизированным газом, образующим плазму.

Прямой электронагрев – процесс, при котором тепло выделяется в загрузке, включенной в электрическую цепь.

Электрический нагрев (электронагрев) – раздел науки и техники, изучающий преобразование электроэнергии в термическую энергию для полезных целей.

Электрод – электрический проводник, имеющий электронную проводимость и находящийся в контакте с ионным проводником – электролитом (ионной жидкостью, твердым электролитом), ионизированным газом.

Электрокалорифер – электротермическое устройство, в котором воздух или газ нагреваются при движении через рабочее пространство, внутри которого расположен электронагреватель.

Электронно-лучевой нагрев – электронагрев загрузки сфокусированным электронным лучом в вакууме.

Электротермическая установка (ЭТУ) – совокупность электротермического и другого технологического оборудования вместе с сооружениями и коммуникациями, обеспечивающими проведение электротермического процесса.

Электротермический эффект – выделение или поглощение тепловой энергии, обусловленное продольным градиентом температуры при протекании электрического тока через однородный проводник.

Электротермическое оборудование (ЭТО) – комплекс технологического оборудования и устройств для осуществления электротермического процесса.

Приложения

Таблица П. 1

Физические характеристики некоторых материалов, сред и сельскохозяйственной продукции

Наименование	Плотность, кг/м^3	Удельная теплоемкость, кДж/кг·°С	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С
1	2	3	4
Воздух	1,29	1,07	0,034
Вода при давлении 1кг/см^2:			
t = 0 °С	1000	4,18	0,599
t = 100°С	958		
Лед при t = 0°С	920	2,23	2,30
Снег	200-410	2	0,1…0,47
Ацетон	791	2,18	0,174
Спирт	791	2,43	–
Молоко при t=20 °С	1030	3,91	0,59
Трансформаторное масло при t = 20°С	880	1,80	0,11
Капуста белокочанная при t = 20°С	702	3,97	0,34
Картофель при t = 20°С	1034	3,62	0,59
Свекла при t = 20°С	1050	3,83	0,78
Морковь при t = 20°С	1035	3,87	0,55
Лук репчатый при t = 20°С	944	3,82	0,35
Кабачки при t = 20°С	950	3,40	0,50
Томаты при t = 20°С	1020	4,02	0,57
Огурцы при t = 20°С	924	4,036	0,44
Яблоки при t = 20°С	830	3,58	0,40
Груши при t = 20°С	1010	3,81	0,51
Персики при t = 20°С	930	3,86	0,58
Стекло оконное (ГОСТ 111)	2500	0,84	0,76
Сосна и ель поперек волокон (ГОСТ 8486, ГОСТ 9463)	500	2,30	0,09
Сосна и ель поперек волокон	500	2,30	0,18
Дуб поперек волокон (ГОСТ 9462, ГОСТ 2695)	700	2,30	0,1
Дуб вдоль волокон	700	2,30	0,23
Фанера клееная (ГОСТ 8673)	600	2,30	0,12
Стекловата	200	0,67	0,037
Вермикулит	150	063	0,1
Рубероид (ГОСТ 10923), пергамин (ГОСТ 2697), толь	600	1,68	0,17

Окончание табл. П. 1

1	2	3	4
Листы асбестоцементные плоские (ГОСТ 18124)	1600-1800	0,84	0,23-0,35
Пенополистерол стандартный	40-150	1,35	0,038-0,05
Газо- и пенобетон (ГОСТ 25485, ГОСТ 5742)	400-1000	0,84	0,11-0,29
Железобетон (ГОСТ 26633)	2500	0,84	1,69
Гранит, базальт	2800	0,88	3,49
Мрамор	2800	0,88	2,91
Известняк	1400-2000	0,88	0,49-0,93
Шамот	2600	0,88	0,7
Гравий керамзитовый (ГОСТ 9757)	200-800	0,84	0,099-0,18
Песок для строительных работ (ГОСТ 8736)	1600	0,84	0,35
Кирпич керамический лицевой (ГОСТ 7484)	1100-1200	–	0,31-0,37
Кирпич полнотелый красный (ГОСТ 7484)	2000	–	0,61
Кирпич керамический строительный с различной степенью пустотности от 22 до 43% (ГОСТ 530)	1100-1150	–	0,31-0,78
Кирпич строительный поризованный	960	–	0,21-0,26
Кирпич пустотелый поризованный (ГОСТ 530)	790-950	–	0,18-0,26
Сталь стержневая, арматурная (ГОСТ 10884, ГОСТ 5781)	7850	0,482	58
Чугун (ГОСТ 9583)	7200	0,482	50
Алюминий (ГОСТ 22233, ГОСТ 24767)	2600	0,84	221
Медь (ГОСТ 931, ГОСТ 15527)	8500	0,42	407

Удельная теплота парообразования:

– вода $a_п$=2260 кДж/кг;
– ацетон $a_п$=524 кДж/кг;
– спирт $a_п$=1190 кДж/кг.

Удельная теплота плавления:

– лед $a_{пл}$=334 кДж/кг;
– сталь $a_{пл}$=205 кДж/кг.

Предельно допустимая температура нагрева:

– бетон T=673 К;
– стекловата T=723 К;
– вермикулит T=423 К;
– асбест T=523 К;
– шамот T=1623 К.

Таблица П. 2

Температурные режимы тепловых процессов в сельскохозяйственном производстве

Тепловой процесс	Рабочая температура процесса, °С
Подогрев воды:	
для отопления	70-95
для мойки молочного оборудования	55-65
для подмывания вымени коров	37-38
для приготовления кормов	40-65
для поения животных	12-20
для полива растений	20-25
Отопление:	
животноводческих помещений	8-20
птицеводческих помещений	16-35
теплиц и парников	20-30
Подогрев воздуха:	
для активного вентилирования сельскохозяйственной продукции	10-35
для сушки сельскохозяйственной продукции	30-300
для сушки зерна:	
семенного	60-70
продовольственного	120-140
Обогрев:	
полов помещений, где содержится скот и птица	14-36
почвы парников и теплиц при выращивании:	
– лука на перо	18
– ранней зелени	15
– рассады капусты	12
– рассады помидоров	20
– рассады огурцов	25
Пастеризация молока:	
длительная	65
кратковременная	71
высокотемпературная	85-96
Запаривание картофеля	98

Таблица П. 3

Степень черноты ε полного излучения различных материалов в зависимости от состояния поверхности и температуры

Материал	t, °С	ε
Изоляционные, огнеупорные и строительные материалы		
Асбестовый картон	24	0,96
Вода	20	0,95-0,98
Дерево строганое	20	0,80-0,90
Кирпич красный	20	0,93
Кирпич шамотный глазурованный	1100	0,75
Краски масляные различных цветов	100	0,92-0,96
Краски масляные алюминиевые	100	0,27-0,67
Стекло гладкое	22	0,94
Металлы		
Алюминий полированный	225-575	0,039-0,057
Алюминий с шероховатой поверхностью	20-50	0,06-0,07
Алюминий сильно окисленный	50-500	0,20-0,30
Латунь полированная	245-375	0,028-0,037
Латунь листовая прокатанная	20	0,06
Латунь окисленная при 600 °С	200-600	0,610-0,590
Медь окисленная при 600 °С	200-600	0,57-0,87
Нихромовая проволока окисленная	50-500	0,95-0,98
Олово	25	0,043-0,064
Сталь листовая шлифованная	940-1100	0,520-0,610
Сталь окисленная	200-600	0,790
Сталь окисленная шероховатая	40-370	0,940-0,970
Чугун полированный	200	0,210
Чугун окисленный при 600°С	200-600	0,640-0,780
Чугун шероховатый сильно окисленный	40-250	0,640-0,780

Таблица П. 4

Глубина проникновения тока для немагнитных металлов, мм

Металл	Температура, °С	Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	Частота, кГц										
			0,06	0,5	1,0	2,5	4,0	8,0	10	30	70	200	500
Алюминий	20	0,027	10,7	3,70	2,61	1,65	1,30	0,92	0,83	0,48	0,31	0,18	0,12
	250	0,053	15,0	5,18	3,66	2,32	1,83	1,29	1,16	0,67	0,44	0,26	0,16
	500	0,087	19,2	6,64	4,69	2,97	2,35	1,66	1,48	0,86	0,56	0,33	0,21
Медь	20	0,018	8,81	3,05	2,16	1,36	1,08	0,76	0,68	0,39	0,26	0,15	0,10
	500	0,050	14,5	5,03	3,56	2,25	1,78	1,26	1,12	0,65	0,43	0,25	0,16
	900	0,085	19,3	6,67	4,72	2,98	2,36	1,67	1,49	0,86	0,56	0,33	0,21

Окончание табл. П. 4

Металл	Температура, °С	Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	Частота, кГц										
			0,06	0,5	1,0	2,5	4,0	8,0	10	30	70	200	500
Латунь	20	0,065	16,6	5,74	4,06	2,56	2,03	1,43	1,28	0,74	0,48	0,29	0,18
	400	0,114	21,9	7,60	5,37	3,40	2,69	1,90	1,70	0,98	0,64	0,38	0,24
	900	0,203	29,3	10,1	7,17	4,53	3,58	2,53	2,27	1,31	0,86	0,51	0,32
Нержавеющая сталь	20	0,690	53,9	18,7	13,2	8,36	6,61	4,67	4,18	2,41	1,58	0,93	0,59
	800	1,150	69,6	24,1	17,1	10,8	8,53	6,03	5,39	3,11	2,04	1,21	0,76
	1200	1,240	72,3	25,1	17,7	11,2	8,86	6,26	5,60	3,23	2,12	1,25	0,79
Серебро	20	0,017	8,34	2,89	2,04	1,29	1,02	0,72	0,65	0,37	0,24	0,14	0,09
	300	0,038	12,7	4,39	3,10	1,96	1,55	1,10	0,98	0,57	0,37	0,22	0,14
	800	0,070	17,2	5,95	4,21	2,66	2,10	1,49	1,33	0,77	0,50	0,30	0,19
Титан	20	0,500	45,9	15,9	11,3	7,11	5,62	3,98	3,56	2,05	1,34	0,80	0,50
	600	1,400	76,8	26,6	18,8	11,9	9,41	6,65	5,95	3,44	2,25	1,33	0,84
	1200	1,800	87,1	30,2	21,3	13,5	10,7	7,54	6,75	3,90	2,55	1,51	0,95

Таблица П. 5

Материалы для нагревательных элементов сопротивления

Материалы	Плотность, $\delta\times10^3$, кг/м^3	Удельное электрическое сопротивление при 20°С, $\rho_{20}\times10^{-6}$, Ом·см	Температурный коэффициент сопротивления, $\alpha\times10^{-6}$, 1/°С	Температура плавления $t_{пл}$, °С	Максимальная рабочая температура (при диаметре проволоки 1 мм) $t_{раб}$, °С
Сплавы					
Х20Н80-Н	8,4	1,06-1,17	16-35	1400	1100
Х15Н60-Н	8,2	1,12-1,17	16	1390	1000
Х15Н60Ю3А	8,2	1,25	16	1600	1200
Х13Ю4	7,3	1,18-1,34	20	1550	1200
Х23Ю5Т	7,27	1,35	17	1700	1100
Х27Ю5Т	7,19	1,39	15	1600	1200
ХН70Ю	7,9	1,3	16	1500	1100
Сталь	7,8	0,14-0,16	2250	1400	500
Спецстали	7,6-7,9	0,4-0,5	Переменный	1600	700
Неметаллические материалы					
Карборунд	2,3	800-1900	Переменный	–	2630
Графит	1,6	8-15	Переменный	–	2300
Уголь	1,6	40-60	Переменный	–	2300-2800

Примечание: буквы в марках сплавов означают: Х – хром; Н – никель; Ю – алюминий; Т – титан. Цифра после букв обозначает процентное содержание элемента; А – высококачественный сплав, Н – для нагревательных элементов.

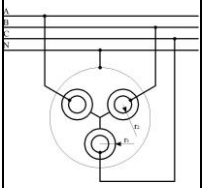
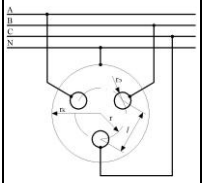
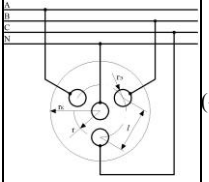
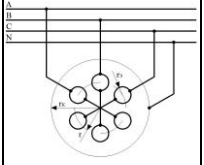
Таблица П. 6

Нагрузка в амперах, соответствующая определенным температурам нагрева нихромовой проволоки, подвешенной горизонтально в спокойном воздухе при температуре 20°С

Диаметр проволоки, мм	Сечение, мм^2	Допустимые нагрузки (А) при расчётной температуре $t_{расч}$, °С					
		400	600	700	800	900	1000
5,0	19,6	83	105	124	146	173	206
4,0	12,6	60	80	93	110	129	151
3,0	7,07	37,5	54,5	64	77	88	102
2,5	4,91	27,5	40	46,6	57,5	66,5	73,0
2,0	3,14	19,6	28,7	33,8	39,5	47,0	51,0
1,8	2,54	16,9	24,9	29,0	33,1	39,0	43,2
1,6	2,01	14,4	21,0	24,5	28,0	32,9	36,0
1,5	1,77	13,2	19,2	22,4	25,7	30,0	33,0
1,4	1,54	12,0	17,4	20,0	23,3	27,0	30,0
1,3	1,33	10,9	15,6	17,8	21,0	24,4	27,0
1,2	1,13	9,8	14,0	15,8	48,7	21,6	24,3
1,1	0,95	8,7	12,4	13,9	16,5	19,1	21,5
1,0	0,785	7,7	10,8	12,1	14,3	16,8	19,2
0,9	0,636	6,7	9,35	10,45	12,3	14,5	16,5
0,8	0,503	5,7	8,15	9,15	10,8	12,3	14,0
0,75	0,442	5,3	7,55	8,4	9,95	11,25	12,85
0,70	0,385	4,8	6,95	7,8	9,1	10,3	11,8
0,65	0,332	4,4	6,3	7,15	8,25	9,3	10,75
0,60	0,282	4,0	5,7	6,5	7,5	8,5	9,7
0,55	0,238	3,55	5,1	5,8	6,75	7,6	8,7
0,50	0,195	3,15	4,5	5,2	5,9	6,75	7,7
0,45	0,159	2,75	3,9	4,45	5,2	5,85	6,75
0,40	0,126	2,34	3,3	3,85	4,4	5,0	5,7
0,35	0,096	1,95	2,76	3,3	3,75	4,15	4,75
0,30	0,085	1,63	2,27	2,7	3,05	3,4	3,85
0,25	0,049	1,33	1,83	2,15	2,4	2,7	3,1
0,20	0,0314	1,03	1,4	1,65	1,82	2,0	2,3
0,15	0,0177	0,74	0,99	1,15	1,28	1,4	1,62
0,10	0,00785	0,47	0,63	0,72	0,8	0,9	1,0

Таблица П. 7

Конструктивные схемы и расчетные формулы электродных систем водонагревателей и паровых котлов

Конструктивная схема электродной системы	Эквивалентная электрическая схема: основная (дополнительная)	Геометрический коэффициент (для основной схемы)	Максимальная напряженность поля (для основной схемы)	Примечание
1	2	3	4	5
	«Звезда»	$k_{эг} = \frac{1}{2\pi} \cdot \ln \frac{r_н}{r_в}$	$E_{макс} = \frac{U_ф}{r_в \cdot \ln \frac{r_н}{r_в}}$	Оптимальное соотношение: $r_в/r_н=0,368$
	«Треугольник» («звезда»)	$k_{эг} = \frac{1}{4\pi} \cdot \ln \left[\frac{3r^2\left(r_к^2 - r^2\right)^3}{r_э^2\left(r_k^6 - r^6\right)} \right]$	$E_{макс} = \frac{0,43 \cdot U_ф}{\sqrt{3} r_э \cdot \lg \frac{2 \cdot r_э + l}{r_э \cdot \sqrt{3}}}$	Оптимальное соотношение размеров: $r=0,51r_к$, $r_э=0,21r_к$
	«Звезда» («треугольник»)	$k_{эг} = (0,33...0,5) \cdot \frac{1}{4\pi} \times \ln \left[\frac{3r^2\left(r_к^2 - r^2\right)^3}{r_э^2\left(r_k^6 - r^6\right)} \right]$	$E_{макс} = k \frac{U_ф}{l}$, $k \succ l$	–
	«Треугольник» («звезда»)	$k_{эг} = \frac{1}{8\pi} \cdot \ln \left[\frac{3r^2\left(r_к^4 - r^4\right)^2}{4r_э^2\left(r_k^3 - r^3\right)} \right]$	–	–

Окончание табл. П. 7

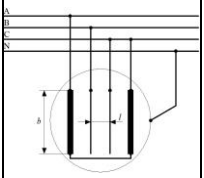
1	2	3	4	5
	«Треугольник» («звезда»)	$k_{эг} = \frac{l}{(n-1)\cdot b}$	$E_{макс} = k\frac{U_л}{l}$, $k \succ l$	n – число пластин
Однофазная система состоящая из двух плоских параллельных электродов	–	$k_{эг} = \frac{l}{b}$		b – ширина плоского электрода; l – расстояние между электродами

Таблица П. 8

Трубчатые электронагреватели серии ТЭН

Обозначение	Мощность, кВт	Развернутая длина, см	Диаметр, мм
ТЭН 60 В 13/1,0 К 220	1,00	60	13
ТЭН 60 В 13/1,0 О 220	1,00	60	13
ТЭН 60 А 13/0,5 К 220	0,50	60	13
ТЭН 73 В 13/2,5 К 220	2,50	73	13
ТЭН 73 В 13/2,0 К 220	2,00	73	13
ТЭН 80 В 13/1,25 К 220	1,25	80	13
ТЭН 80 В 13/1,25 О 220	1,25	80	13
ТЭН 80 В 13/2,0 К 220	2,00	80	13
ТЭН 100 А 16/1,6 К 220	1,60	100	16
ТЭН 80 В 13/1,25 О 220	1,25	80	13
ТЭН 100 В 13/1,0 К 220	1,00	100	13
ТЭН 120 А 13/2,5 К 220	2,50	120	13
ТЭН 120 С 13/1,6 К 380	1,60	120	13
ТЭН 137 D 8,0/1,5К 220	1,50	137	8
ТЭН 140 В 16/3,5 К 220	2,00	140	16
ТЭН 145 С 13/2,0 К 220	2,00	145	13
ТЭН 150 Е 13/2,0 К 220	2,00	150	13
ТЭН 170 Д 13/2,0 К 220	2,00	170	13
ТЭН 173 А 13/3,0 К 220	3,00	173	13
ТЭН 200 Д 13/2,5 К 220	2,50	200	13
ТЭН 200 Е 16/2,5 К 220	2,50	200	16
ТЭН 200 С 13/3,15 К 220	3,15	200	13

Примечание. *Расшифровка маркировки ТЭН 120 В 13/1,0 Т 220:* 120 – развернутая длина $L_в$ в сантиметрах; В – обозначение длины контактного стержня в заделке L_k; 13 – диаметр оболочки D, в миллиметрах; 1,0 – номинальная мощность в киловаттах (потребляемая мощность электронагревателя не должна превышать его номинального значения более, чем на 10%); Т – обозначение нагреваемой среды и материала оболочки; 220 – номинальное напряжение в вольтах.

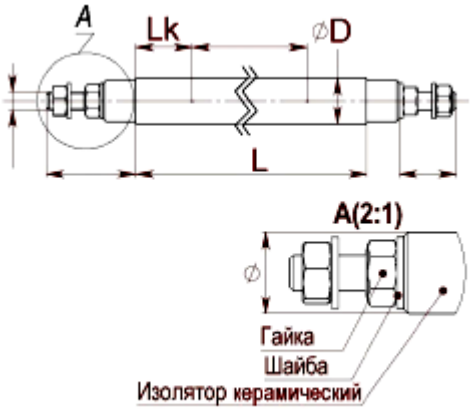


Рис. П. 1. Стандартная заделка L_k контактного стержня ТЭН:
A – 40; B – 65; C – 100; D – 125; E – 160; F – 250; G – 400; H – 630 мм

Таблица П. 9

Обозначение нагреваемой среды и материала оболочки

Условное обозначение нагреваемой среды	Нагреваемая среда	Характер нагрева	Удельная мощность, Вт/см^2, не более	Материал оболочки ТЭН
1	2	3	4	5
X	Вода, слабый раствор щелочей и кислот (pH 5-9)	Нагревание, кипячение с максимальной температурой на оболочке 100°C	9,0	Меди и латунь (с покрытиями)
J	Вода, слабый раствор кислот (pH 5-7)	То же	15,0	Нержавеющая жаростойкая сталь
P	Вода, слабый раствор щелочей (pH 7-9)	То же	15,0	Углеродистая сталь
Q	Вода, слабый раствор кислот (pH 5-7)	То же	9,5	Алюминиевые сплавы
S		Нагрев в спокойной газовой среде до рабочей температуры на оболочке ТЭН 450°C	2,2	Углеродистая сталь
T			5,0	Нержавеющая жаропрочная сталь

Окончание табл. П. 9

1	2	3	4	5
O	Воздух и пр. газы и смеси газов	Нагрев в среде с движущимся со скоростью 6 м/с воздухом с рабочей температурой на оболочке ТЭН до 450°С	5,5	Углеродистая сталь
K		Нагрев в среде с движущимся со скоростью не менее 6 м/с воздухом, с рабочей температурой на оболочке ТЭН свыше 450°С	6,5	Нержавеющая жаростойкая сталь
R		Нагрев в среде с движущимся со скоростью менее 6 м/с воздухом с рабочей температурой на оболочке ТЭН до 450°С	3,1	Углеродистая сталь
N		Нагрев движущимся со скоростью менее 6 м/с воздухом, с рабочей температурой на оболочке ТЭН свыше 450°С	5,1	Нержавеющая жаростойкая сталь
Z	Жиры, масла	Нагрев в ваннах и др. емкостях	3,0	Углеродистая сталь
V	Щелочь, щелочно-селитровая смесь	Нагрев и плавление в ваннах и др. емкостях с рабочей температурой на оболочке ТЭН до 600°С	3,5	Углеродистая сталь
W	Легкоплавкие металлы: олово, свинец и др.	То же, с рабочей температурой на оболочке ТЭН до 450°С	3,5	Углеродистая сталь

Таблица П. 10

Допустимые значения удельной поверхностной мощности для трубчатых электронагревателей

Нагреваемая среда	Характер и условия нагрева	Рекомендуемый материал оболочки ТЭН	Удельная нагрузка, Вт/см^2	
			рекомендуемая	максимально допустимая
1	2	3	4	5
Вода	Нагрев в проточном водоподогревателе	алюминиевый сплав; луженные медь и латунь;	8-12	15

Окончание табл. П. 10

1	2	3	4	5
	Нагрев, кипячение в баке водоподогревателя	Нержавеющая сталь 1Х18Н10Т; стали 10 и 20 с противокоррозионным покрытием	6-10	11
Воздух	Нагрев в спокойной среде с температурой до 400°С на оболочке ТЭН	Стали 10-12	1,2-1,8	2,3
	Нагрев в спокойной среде с температурой свыше 400°С на оболочке ТЭН	Нержавеющая сталь 1Х18Н10Т	2,3-5,0	6,0
	Нагрев движущегося со скоростью до 6 м/с воздуха и температура на оболочке ТЭН свыше 400°С	Нержавеющая сталь 1Х18Н10Т	3,0-4,5	6,0
	Нагрев в калорифере движущегося со скоростью свыше 6 м/с воздуха и температура на оболочке ТЭН до 400°С	Стали 10-12	5,0-5,5	7,0
Пищевые жиры, масла	Нагрев в емкости	Нержавеющая сталь 1Х18Н10Т	2,5-3,0	3,5
Молоко	Подогрев в емкости	Нержавеющая сталь 1Х18Н10Т	1,5-2,0	2,5
Лучистый обогрев животных и птиц	С экранами при высоте подвеса не менее 1,5 м	Нержавеющая сталь 1Х18Н10Т	5,0-6,0	7,0
Бытовые электроплитки	Нагреватели залиты в металл конфорки	Стали 10-20	5,0-7,0	8,0

Таблица П. 11

Количество выделяемых одним животным: углекислоты, влаги, теплоты при *t* = 10°С и относительной влажности воздуха 70% (по НТН-СХ.16-5, НТП-СХ. 2-28)

Вид животных	Живая масса, кг	Углекислота, л/ч	Водяные пары, л/ч	Поток теплоты, Вт
1	2	3	4	5
Коровы сухостойные	200	90	288	207
	400	110	350	661
	600	138	440	778
	800	162	516	911
Коровы лактирующие:				
с удоем 10 л	300	96	307	542
	400	114	364	639
	500	128	410	722
	600	143	455	800
с удоем 15 л	300	105	392	661
	400	129	458	722
	500	142	507	797
	600	156	549	875
с удоем 30 л	400	175	560	983
	600	200	642	1125
	800	225	721	1264
Телята в возрасте:				
до 1 месяца	30	15	47	84
	50	26	86	146
	80	38	121	215
от 1 до 3 месяцев	60	32	102	181
	100	42	135	236
	130	57	182	319
от 3 до 4 месяцев	90	37	118	208
	150	57	183	319
	200	75	240	422
Свиноматки супоросные	100	40	110	219
	150	46	129	261
	200	52	147	311
Свиноматки подсосные с поросятами	100	87	242	494
	150	99	276	564
	200	114	320	653
Поросята 2-х месячного возраста	15	17	49	92
	50	27	77	157

Окончание табл. П. 11

1	2	3	4	5
Ремонтный и откормочный молодняк	60	33	92	186
	80	38	107	207
	90	41	114	232
Хряки - производители	100	44	123	250
	200	57	161	322
	300	77	216	435
Свиньи откормочные	100	47	132	269
	200	63	175	358
	300	83	230	472
Бараны	50	25	70	143
	80	33	33	186
	100	35	98	200
Матки холостые	40	19	52	105
	50	22	62	126
	60	28	78	154
Матки подсосные с приплодом:				
1 ягненок	40	22	62	126
	50	25	70	142
	60	28	78	154
2 ягненка	40	44	112	245
	50	47	133	267
	60	52	145	293
Молодняк после отбивки мелких пород	20	14	39	80,2
	40	21	58	116
Молодняк после отбивки крупных пород	30	17	46	93
	50	23	64	131

Примечание: нормы выделения животными приведены при температуре в помещении 10°С и относительной влажности воздуха 70% для крупного рогатого скота и 70…75% – для свиней. При других температурах воздуха внутри помещения нормы выделения теплоты и влаги определяют с учетом коэффициентов, указанных в таблице П. 12. При относительной влажности воздуха 80…85% количество выделенных животными теплоты, углекислоты и водяных паров увеличивается на 3%.

Таблица П. 12

Коэффициенты для определения количества водяных паров и свободной теплоты при различных температурах внутри помещения

Температура внутри помещения, °С	Коэффициенты для определения количества					
	свободной теплоты	водяных паров	свободной теплоты	водяных паров	свободной теплоты	водяных паров
	КРС		Свиноматки, свиньи откормочные		Овцы	
-10	1,31	0,61	–	–	–	–
-5	1,19	0,67	1,59	0,72	1,15	0,90
0	1,08	0,76	1,27	0,83	1,08	0,96
5	1,05	0,86	1,08	0,98	1,04	0,99
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,09	1,00
15	0,96	1,24	0,08	1,15	0,57	1,06
20	0,93	2,04	1,15	1,53	1,09	1,13
25	0,89	2,49	1,47	1,96	1,18	1,24

Таблица П. 13

Количество теплоты, углекислоты и водяных паров, выделяемых на 1 кг живой массы для молодняка до 30 дней при 24°С, а для остальных – при 16°С

Виды и возрастные группы птиц	Живая масса птицы, кг	Тепловой поток, Вт	Углекислота, л/ч	Водяные пары, г/ч
1	2	3	4	5
Взрослые птицы – при содержании в клетках: куры яичных пород	1,5-1,7	7,9	1,7	5,1
– при напольном содержании:				
куры яичных пород	1,5…1,7	9,2	2	5,8
куры мясных пород	2,5…3,0	8,4	1,8	5,2
индейки	6,8	7,8	1,7	5
утки	3,5	5,6	1,2	3,6
Молодняк птицы – куры яичного направления:				
от 1 до 10 дн.	0,06	15,7	2,3	3,5
от 11 до 30 дн.	0,25	10,25	2,2	6,6
от 31 до 60 дн.	0,6	8,6	1,9	5,7
от 61 до 150 дн.	1,3	7,9	1,7	5
от 151 до 210 дн.	1,6	7,4	1,6	4,8
– куры мясного направления:				
от 1 до 10 дн.	0,08	15	2,2	4

Окончание табл. П. 13

1	2	3	4	5
от 11 до 30 дн.	0,35	9,4	2	6,3
от 31 до 60 дн.	1,2-1,4	8,4	1,8	5,4
от 61 до 150 дн.	1,8	7,8	1,7	5
от 151 до 210 дн.	2,5	7,2	1,6	4,8
– индейки				
от 1 до 10 дн.	0,1	12,2	2	4,2
от 11 до 30 дн.	0,6	9,8	2,1	6,6
от 31 до 60 дн.	1,5	8,4	1,8	9,2
от 61 до 120 дн.	4	7,4	1,6	4,8
от 121 до 180 дн.	6	7,2	1,5	4,5
– утки:				
от 1 до 10 дн.	0,2	16,3	3,5	10,5
от 11 до 30 дн.	1	11,8	2,5	7,5
от 31 до 55 дн.	2,2	5,6	1,2	3,6
от 56 до 180 дн.	3	4,7	1	3

Примечание: нормы выделений птицей приведены при температуре воздуха в помещении 16…20°С и оптимальной относительной влажности воздуха для кур и индеек – 60…70%; для уток и гусей – 70…80%. При других температурах воздуха внутри помещения нормы выделения теплоты и влаги определяют с учетом коэффициентов, указанных в таблице П. 14. При относительной влажности воздуха 80…85% количество выделенных животными теплоты, углекислоты и водяных паров увеличивается на 3%.

Таблица П. 14

Поправочные коэффициенты для определения тепловых потоков и влаговыделений птицей при различных температурах внутри помещения

Температура, °С	Коэффициенты для определения количества		Коэффициенты для определения количества	
	свободной теплоты	водяных паров	свободной теплоты	водяных паров
	молодняк старше 30 дней и взрослые птицы		молодняк в возрасте от 1 до 30 дней	
4	1,15	0,85	-	-
8	1,10	0,90	-	-
12	1,05	0,95	-	-
16	1,00	1,00	-	-
20	0,95	1,05	1,05	0,95
24	0,92	1,08	1,00	1,00
28	0,90	1,10	0,95	1,05
32	0,85	1,25	0,92	1,20
36	0,80	1,30	0,80	1,30

Таблица П. 15

Среднесуточный выход помета от одной птицы

Вид птицы	$P_{пом}$,г	Влажность, %
Взрослые птицы – куры направления: яичного	240	73
мясного	290	73
– индейки	430	73
– утки	550	83-85
Молодняк: – куры в возрасте: 1-30 дней	30	73
31-60 дней	80	73
61-150 дней	120	73
151-210 дней	210	73
– индейки в возрасте:		
1-20 дней	100	73
21-120 дней	280	73
121-180 дней	420	73
– утки в возрасте		
1-10 дней	80	83-85
11-20 дней	226	83-85
21-30 дней	260	83-85
31-180 дней	500	83-85

Таблица П. 16

Температура, плотность и влагосодержание воздуха при полном насыщении

Температура, °С	Плотность сухого воздуха, кг/м^3	Кол-во насыщающих водяных паров в 1 кг сухого воздуха *d*, г/кг	Температура, °С	Плотность сухого воздуха, кг/м^3	Кол-во насыщающих водяных паров в 1 кг сухого воздуха *d*, г/кг
1	2	3	4	5	6
99	0,949	17000	4	1,275	5,10
30	1,165	26,2	3	1,279	4,77
29	1,169	25,6	2	1,284	4,48
28	1,173	24,0	1	1,288	4,15
27	1,177	22,6	0	1,293	3,90
26	1,181	21,4	-1	1,298	3,58
25	1,185	20,0	-2	1,303	3,30
24	1,189	18,8	-3	1,308	3,10

Окончание табл. П. 16

1	2	3	4	5	6
23	1,193	17,7	-4	1,312	2,80
22	1,197	16,8	-5	1,317	2,60
21	1,201	15,6	-6	1,322	2,40
20	1,205	14,7	-7	1,327	2,25
19	1,209	13,8	-8	1,332	2,08
18	1,213	12,9	-9	1,337	1,93
17	1,217	12,1	-10	1,342	1,80
16	1,222	11,4	-11	1,348	1,65
15	1,226	10,6	-12	1,353	1,50
14	1,23	9,97	-13	1,358	1,40
13	1,235	9,37	-14	1,363	1,30
12	1,239	8,75	-15	1,368	1,20
11	1,243	8,15	-16	1,374	1,11
10	1,248	7,63	-17	1,379	1,04
9	1,252	7,13	-18	1,385	0,93
8	1,256	6,65	-19	1,394	0,86
7	1,261	6,21	-20	1,396	0,80
6	1,265	5,79	-25	1,405	0,59
5	1,27	5,40	-30	1,412	0,48

Таблица П. 17

Значения сопротивлений тепловосприятию $R_в$ для животноводческих и птицеводческих зданий (по СНиП 11-Н-з-69)

Элементы ограждений	$R_в$, м^2·°С/Вт
Внутренние стены помещений, в которых заполнение животными составляет более 80 кг живой массы на 1 м^2 пола	0,086-0,116
Внутренние стены помещений, в которых заполнение животными составляет 80 кг живой массы на 1 м^2 пола	0,115-0,155
Чердачные перекрытия или покрытия	0,115-0,155

Таблица П. 18

Значения сопротивлений теплоотдаче $R_н$ для наружных поверхностей ограждений (по СНиП 11-А, 7-62)

Расположение наружных поверхностей	$R_н$, м^2·°С/Вт
Наружные стены, бесчердачные покрытия	0,043
Поверхности, выходящие на чердак	0,086-0,123

Таблица П. 19

Удельные тепловые характеристики производственных зданий

Вид здания	Объём здания или сооружения, тыс. $м^3$	Удельная тепловая характеристика, $Вт/м^2 \cdot °С$	
		отопительная	вентиляционная
Ремонтные мастерские	5-10	0,7-0,6	0,23-0,17
Столярные мастерские	5	0,52	0,52
Гаражи	3	0,70	Не учитывается
	5	0,64	0,81
Бытовые и административно-вспомогательные помещения	0,5-1,0	0,7-0,52	Не учитывается
	1,0-2,0	0,52-0,47	
Помещения для содержания крупного рогатого скота:			
молодняка	10	0,291	1,396
взрослых животных	10	0,174	1,047
Помещения для содержания свиней			
молодняка	5	0,407	1,280
взрослых животных	5	0,174	1,105
Овчарни	10	0,105	0,640
Помещения для содержания птицы	10	0,756	1,396

Таблица П. 20

Выделенные частоты для нагрева в электрическом поле высокой частоты

Частота	Пределы изменения частот
1	2
Средневолновой диапазон	
440 кГц	± 2,5%
880 кГц	± 1,0%
1760 кГц	± 2,5%
Коротковолновый диапазон	
5,28 МГц	± 2,5%
13,56 МГц	± 1,0%
27,12 МГц	± 1,0%
Метровый диапазон	
40,68 МГц	± 1,0%
81,36 МГц	± 1,0%
152,5 МГц	± 1,0%
300,0 МГц	± 1,0%
Дециметровый диапазон	
2375 МГц	± 2,0%

Окончание табл. П. 20

1	2
Сантиметровый диапазон	
22125 МГц	± 0,5%

Примечание: уровень поля радиопомех от установок высокочастотного нагрева не должен превышать 50 мкВ на расстоянии 50 м для частоты 81,36 МГц; 200 мкВ на расстоянии 120 м для всех остальных частот, приведенных в таблице П. 20.

Таблица П. 21

Технические данные высокочастотных генераторов

Тип генератора	Назначение	Номинальная мощность (колебательная), кВт	Рабочая частота, МГц	Мощность, потребляемая из сети, кВт
ВЧГ3-4/1,76	Поверхностная закалка	4	1760	6
ВЧГ1-6/0,44		6	440; 880	10
ВЧГ1-25/0,44		25	440	40
ВЧГ1-60/0,066		60	66	80
ВЧГ2-60/0,44	Поверхностная закалка, сквозной нагрев прутков и деталей	60	440	80
ВЧГ1-100/0,066		100	66	130

Таблица П. 22

Технические данные высокочастотных генераторов для установок диэлектрического нагрева

Тип генератора	Номинальная мощность (колебательная), кВт	Рабочая частота, МГц	Номинальное напряжение (анодное), кВ	Мощность, потребляемая из сети, кВт
ВЧГ3-10/13	10	13,56	7,5	18,5
ВЧГ3-60/13	60	13,56	10,0	85,0
ВЧГ1-160/13	160	13,56	10,5	300,0
ВЧГ4-4/27	4	27,12	6,0	7,0
ВЧГ2-10/27	10	27,12	7,5	20,0
ВЧГ2-25/27	25	27,12	7,5	38,0

Таблица П. 23

Основные технические характеристики проточных элементных водонагревателей

Параметр	ЭВП-2А	ЭВ-Ф-15	ВЭП-600
Номинальная мощность, кВт	10,5	15	10,5
Номинальное напряжение, В	380/220	380/220	380/220
Максимальная температура воды, °С	95	80	10; 16; 22 (80)
Вместимость, л	12	15	100
Производительность л/ч	115	160	600 (100)

Таблица П. 24

Технические характеристики электроводонагревателей типа ЭПЗ

Наименование параметра	Значение параметра для водонагревателей типов				
	ЭПЗ-25-И6М	ЭПЗ-60-И6М	ЭПЗ-100-И6М	ЭПЗ-250-И3М	ЭПЗ-400-И3М
Номинальная потребляемая мощность, кВт	25*	60*	100*	250*	400*
Номинальное напряжение, В	380				
Номинальный ток, А	38	91	152	380*	610*
Частота тока, Гц	50				
Номинальная температура воды при номинальной производительности, °С:					
на входе	70				
на выходе	90		95		
Максимальное рабочее давление в корпусе электроводонагревателя, МПа	0,6(6)				
Производительность при номинальной температуре, $м^3/ч$	1,06**	25**	4,2**	8,75	14,0
Объем электроводонагревателя, $м^3$	0,019	0,026	0,032	0,076	0,105
Площадь обогрева, $м^3$	210***	520**	860***	3000**	4000**
Номинальное удельное электрическое сопротивление, применяемой воды при 20°С, Ом·м	20				
Габаритные размеры водонагревателя, мм	320×725	320×855	320×1055	472×1480	472×1850
Масса, кг	76	93	115	135	179

Примечание: *расчетное значение зависит от удельного сопротивления применяемой воды, номинальное значение которого принято и рекомендовано для эксплуатации 20 Ом·м при температуре 20°С, а также разности температуры воды на входе и выходе электронагревателя, принятой 70 и 90°С соответственно;

** значение указано при номинальных значениях мощности и температур на входе и выходе электронагревателей 70 и 90°С;

*** расчетное значение зависит от размеров и конструкции помещения.

Структура условного обозначения: ЭПЗ-Х-ИХМ УХЛ4: Э – метод нагрева – электродный; П – проточный; З – замкнутый контур; Х – мощность, кВт; ИХ – порядковый номер модификации; М – модернизированный; УХЛ4 – климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69.

Таблица П. 25

Основные технические характеристики элементных емкостных электроводонагревателей

Наименование параметра	Значение параметра для водонагревателей типов					
	УАП-400	УАП-800	УАП-1600	САОС-400 САЗС-400	САОС-800 САЗС-800	ЭВ-150
Номинальная мощность, кВт	12	18	30	12	18	6
Вместимость резервуара, л	400	800	1600	400	800	150
Максимальная температура воды, °С	95	95	95	90	90	90
Время нагрева воды до максимальной температуры, ч	3,3	4,5	6	3,5	5	3

Таблица П. 26

Основные технические данные электродных парогенераторов

Наименование параметра	Значение параметра для водонагревателей типов				
	КЭПР160/0,4	КЭПР250/0,4	ЭЭП-160И1	ЭЭП-250И1	ЭЭП-400И1
Номинальная мощность, кВт	160	250	160	250	400
Паропроизводительность, кг/ч	210	320	200	315	500
Диапазон регулирования мощности, %	100-5	100-5	25, 50	75, 100	100-0
Удельное электрическое сопротивление, применяемой воды при 20°С, Ом·м	10-120	10-120	15-60	15-60	15-60
Максимальная температура пара, °С	164	164	164	164	164
Масса, кг	395	400	290	310	400

Таблица П. 27

Основные технические характеристики электрокалориферных установок ЭКОЦ (СФОЦ)

Марка установки	Мощность, кВт	Производительность по воздуху, $м^3/ч$	Перепад температуры на входе и выходе, °С	Полный аэродинамический напор, развиваемый вентилятором, Па	Габаритные размеры, мм			Масса, кг
					длина	ширина	высота	
ЭКОЦ (СФОЦ)-5	5	500	35	200	1120	740	460	42
ЭКОЦ (СФОЦ)-10	10	800	35	400	1170	740	660	60
ЭКОЦ (СФОЦ)-16	16	1900	35	400	1235	740	812	95
ЭКОЦ (СФОЦ)-25	24	2500	35	500	1300	740	812	100
ЭКОЦ (СФОЦ)-40	47	3500	50	800	1600	740	1062	208
ЭКОЦ (СФОЦ)-60	70	4000	65	950	1600	740	1062	215
ЭКОЦ (СФОЦ)-100	96	5000	70	1100	2150	740	1305	259
ЭКОЦ-160	165	7500	85	1500	2150	740	1305	292
ЭКОЦ-250	250	10000	100	1700	2750	740	1538	547

Примечание: электрокалориферные установки ЭКОЦ (СФОЦ) укомплектованы радиальными вентиляторами ВР-80-75 (ВР86-77) и электрокалориферами ЭКО; температура воздуха на выходе: до +50°С; максимально допустимая температура на поверхности нагревателя 450°С; напряжение сети 380 В; число фаз 3; частота тока 50 Гц; электрическая прочность изоляции 17 кВт.

Таблица П. 28

Комплектация электрокалориферных установок ЭКОЦ (СФОЦ) вентиляторами

Марка установки	Марка вентилятора	Мощность вентилятора, кВт	Частота вращения, об/мин
ЭКОЦ (СФОЦ)-5	ВР-80-75-2,5	0,25	1500
ЭКОЦ (СФОЦ)-10	ВР-80-75-3,15	0,37	1500
ЭКОЦ (СФОЦ)-16	ВР-80-75-3,15	0,55	1500
ЭКОЦ (СФОЦ)-25	ВР-80-75-4	1,1	1500
ЭКОЦ (СФОЦ)-40	ВР-80-75-5	1,5	1500
ЭКОЦ (СФОЦ)-60	ВР-80-75-5	2,5	1500
ЭКОЦ (СФОЦ)-100	ВР-80-75-6,3	5,5	1500
ЭКОЦ-160	ВР-80-75-6,3	7,5	1500
ЭКОЦ-250	ВР-80-75-8	7,5	1000

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Алиферов, А. И. Электроконтактный нагрев / А. И. Алиферов, С. Лупи. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2004. – 224 с.

2. Баранов, Л. А. Светотехника и электротехнология : учебное пособие / Л. А. Баранов, В. А. Захаров. – М. : КолосС, 2006. – 344 с.

3. Басов, А. М. Электротехнология : учебное пособие / А. М. Басов, В. Г. Быков, А. В. Лаптев, В. Б. Файн. – М. : Агропромиздат, 1985. – 256 с.

4. Васильев, С. И. Электротехника и электроника : учебное пособие / С. И. Васильев, И. В. Юдаев, С. В. Машков. – Кинель : РИО Самарской ГСХА, 2017. – 252 с.

5. Васильев, С. И. Электротехника и электроника. Ч. 1. Линейные электрические цепи : учебное пособие / С. И. Васильев, И. В. Юдаев. – Кинель : РИО Самарской ГСХА, 2016. – 133 с.

6. Гайдук, В. Н. Практикум по электротехнологии : учебное пособие / В. Н. Гайдук, В. Н. Шмигель. – М. : Агропромиздат, 1989. – 175 с.

7. Гриднева, Т. С. Автоматика : учебное пособие / Т. С. Гриднева, С. С. Нугманов, С. В. Машков, П. В. Крючин. – Кинель : РИО Самарской ГСХА, 2016. – 108 с.

8. Живописцев, Е. Н. Электротехнология и электрическое освещение : учебное пособие / Е. Н. Живописцев, О. А. Косицын. – М. : Агропромиздат, 1990. – 303 с.

9. Заяц, Е. М. Расчеты электротехнологического оборудования : учебное пособие / Е. М. Заяц, В. А. Карасенко, И. Б. Дубодел. – Минск : Техно-принт, 2001. – 203 с.

10. Изаков, Ф. Я. Практикум по применению электрической энергии в сельском хозяйстве : учебное пособие / Ф. Я. Изаков, В. А. Козинский, А. В. Лаптев [и др.]. – М. : Колос, 1972. – 304 с.

11. Ильюхин, М. С. Теплоснабжение отраслей АПК : учебное пособие для повышения квалификации специалистов. – М. : Агропромиздат, 1990. – 175 с.

12. Карасенко, В. А. Электротехнология : учебное пособие / В. А. Карасенко, Е. М. Заяц, А. Н. Баран, В. С. Корко. – М. : Колос, 1992. – 304 с.

13. Ксенофонтов, А. Г. Расчет и конструирование нагревательных устройств. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 503 с.

14. Кудрявцев, И. Ф. Электрический нагрев и электротехнология : учебное пособие / И. Ф. Кудрявцев, В. А. Карасенко. – М. : Колос, 1975. – 384 с.

15. Лекомцев, П. Л. Курсовое проектирование по электротехнологии : учебное пособие. – Ижевск, 2002. – 77 с.

16. Проценко, П. П. Электротехнологические промышленные установки : методические указания. – Благовещенск : Изд-во АмГУ, 2013. – 70 с.
17. Романов, Д. И. Электроконтактный нагрев металлов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1981. – 166 с.
18. Слухоцкий, А. Е. Установки индукционного нагрева : учебное пособие для вузов / А. Е. Слухоцкий, В. С. Немков, И. А. Павлов, А. В. Бамунэр ; под. ред. А. Е. Слухоцкого. – Л. : Энергоиздат, 1981. – 328 с.
19. Суворин, А. В. Электротехнологические установки : учебное пособие. – М. : ИНФРА-М ; Красноярск : Сиб. федеральный ун-т, 2018. – 376 с.
20. Чёба, Б. П. Светотехника и электротехнология. Ч. 2. Электротехнология : методическое пособие к практическим занятиям. – Зерноград : ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2007. – 113 с.
21. Чередниченко, В. С. Электротехнологические установки и системы. Теплопередача в электротехнологии. Упражнения и задачи : учебное пособие / В. С. Чередниченко, А. И. Алиферов, В. А. Синицын [и др.] ; под. ред. В. С. Чередниченко, А. И. Алиферов. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2011. – 570 с.
22. Юдаев, И. В. Основы электротермии : учебное пособие / И. В. Юдаев, Е. Н. Живописцев, А. М. Глушков. – Волгоград : Волгоградская ГСХА, 2011. – 160 с.
23. Юдаев, И. В. Электрический нагрев: основы физики процессов и конструктивных расчетов : учебное пособие / И. В. Юдаев, Е. Н. Живописцев. – СПб. : Лань, 2018. – 196 с.

Алфавитно-предметный указатель

«

«Горячий режим», 157
«Живое» сечение, 130

А

Агрегат, 147
Активное вентилирование, 141, 142, 145, 146, 147, 148-150, 189, 216
Аналитический метод определения диаметра провода, 85
Атомы, 7
Аэрация межзерновых пространств, 146

Б

Бункер, 147

В

Вихревые токи, 157, 158, 159
Водогрейные электрокотлы, 66
Водонагреватель
  непроточный, 66
  проточный, 67
Воздух, 10, 11, 13, 22, 33, 34, 36, 37, 65, 88, 91, 92, 102, 106, 109, 115, 116, 118, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 137, 139, 140, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 155, 183, 189, 197, 198, 199, 201, 202, 208, 216
Воздухообмен, 118
Вытяжные системы вентиляции, 119

Г

Газ, 6, 9, 10, 11, 13
Генератор, 161, 167, 169, 170, 175, 205
Гипотеза Фурье, 6
Глубина проникновения тока, 40, 157, 190
Графо-аналитический метод определения диаметра провода, 86

Д

Деталь, 29, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 59, 60, 61, 98, 156, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 173
Деформация, 50, 88
Диаметр контактной поверхности электрода, 50
Диффузия, 16
Диэлектрический нагрев, 164, 185
Длина спирали, 89, 90, 100, 102, 103, 107

Е

Естественная вентиляция, 118

Ж

Жидкость, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 88

З

Закалочные трещины, 51
Закон
  Джоуля-Ленца, 38
  Стефана-Больцмана, 13

Закрома, 146
Зерно, 145, 146, 147, 149, 168, 189

И

Индуктивность соленоида, 158
Индуктор, 159, 175
Индукционные нагреватели
средней и высокой частоты, 161

К

Конвекция, 6, 9
Контактная стыковая сварка, 48
Косвенный электрический нагрев
сопротивлением, 81
Коэффициент
монтажа, 90
среды, 87, 90
Кристаллическая решетка, 7
Критерий
Нуссельта, 10, 11, 91, 92, 107, 128, 137
Прандтля, 10
Рейнольдса, 10, 92

Л

Ликвидация самосогревания зерна, 145

М

Массообмен, 16
Металл, 7, 13, 39, 50, 53, 54, 156, 197
Микроклимат, 118, 124
Мощность, 15, 17, 19, 20, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 41, 44, 45, 46, 47, 50, 53, 54, 55, 58, 61, 64, 66, 67, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 79, 80, 82, 84, 85, 86, 87, 90, 91, 93, 94, 95, 97, 98, 99, 104, 105, 106, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 127, 128, 129, 131, 132, 133, 138, 139, 140, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 157, 159, 161, 164, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 173, 174, 175, 179, 180, 181, 183, 194, 195, 205, 206, 207

Н

Напряжение, 19, 42, 44, 47, 63, 66, 81, 89, 90, 95, 97, 110, 112, 114, 115, 160
Наружный диаметр трубки, 90, 91, 107

О

Обмотка, 42, 59, 61, 174
Объем, 22, 116
Оребрение, 12, 91, 92, 107, 108, 117, 128, 138, 144
Относительная магнитная
проницаемость, 40, 55, 61

П

Параметры индуктора, 158
Парник, 104, 151, 152, 153, 154, 155, 189, 216
Паровые электрокотлы, 66
Поверхностный эффект, 39, 44, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 104
Полевая сушка, 141
Полная длина ТЭНа, 91, 107
Помещения защищенного грунта, 151
Пористые материалы, 7
Потери теплоты, 22, 24, 37, 124, 125, 131, 132, 151

Приточная принудительная вентиляция, 119
Проводник, 41, 63
Продолжительность сжатия деталей, 51
Промораживание зерна, 145
Птичник, 119, 123

Р

Расчётная площадь электродов, 69

С

Сварка
на «жестком» режиме, 49
на «мягком» режиме, 49
Свинарник, 120
Сено, 141, 142, 143, 144, 145, 148, 149, 150, 216
Система «деталь-индуктор», 160
Сопротивление
контакта, 48
проводника, 38
Средний диаметр витков спирали, 90, 107
Сушка зерна подогретым воздухом, 146
Сушка сена, 141
Схема соединения
«звезда», 97, 100, 109, 111
«двойная звезда», 111, 112
«последовательная звезда», 113
«треугольник», 97
«двойной треугольник», 112, 113
«последовательный треугольник», 114

Т

Твердые тела, 7
Тело
абсолютно черное, 13
серое, 13, 14
Температурно-влажностный режим, 118
Температурный коэффициент сопротивления, 39, 61
Температурный напор, 10
Теплица, 151, 189
Тепловая изоляция, 17, 22, 23, 30, 33, 34, 36, 37, 45, 88, 99
Тепловое излучение, 6, 13
Тепловой поток, 9, 14, 18, 25, 26, 32, 34, 35, 125, 126, 131, 137, 153, 200
Тепловой расчёт, 17
Теплообмен, 6, 9, 10, 12, 15, 26, 128, 129
Теплопроводность, 6, 7, 8, 9, 20, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 33, 37, 51, 81, 93, 152, 153, 164
Термический КПД, 21, 45, 174
Ток, 16, 17, 38, 39, 41, 42, 43, 44, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 69, 70, 73, 74, 75, 76, 77, 79, 80, 87, 90, 155, 156, 157, 159, 174, 175, 186, 206, 208
Толщина закаливаемого слоя, 161, 162
Толщина свариваемых деталей, 49, 51
Точечная контактная электрическая сварка, 49
Точка Кюри, 41
Трансформатор, 42, 43, 44, 46, 47, 51, 57, 58, 59, 60, 61, 156, 160, 161
Трубчатые электронагреватели, 12, 88, 127

У

Удельное электрическое сопротивление, 38, 58, 64, 72, 73,

74, 75, 76, 79, 81, 102, 104, 191, 207
Усилие сжатия, 51

Ф

Формула
Ньютона-Рихмана, 9
Штейнметца, 156

Ч

Часовая паропроизводительность, 182

Ш

Шаг витков, 89, 90, 107

Э

Электродный нагрев, 63, 66, 215
Электрокалорифер, 91, 127, 137, 139, 144, 145, 147, 148, 149, 150, 183
Электроконтактный нагрев, 41, 42, 45, 58, 209
Электрокотлы, 66, 178
Электромагнитная волна, 39, 55, 62, 156, 157, 158, 164, 175
Электронагрев, 5, 38, 63, 65, 176, 177, 185, 186
Электронагревательная установка, 17
Электротехнологические установки (оборудование), 5
Электротехнология, 4
Электроэнергия, 5, 168, 169, 177, 186

Оглавление

Предисловие…….. 3
Введение …… 4
1. Основы теплового расчета электротермических установок ……. 6
1.1. Общие положения из теории массо- и теплопередачи ……. 6
1.2. Общие положения теплового расчета электронагревательных установок ……... 16
Примеры решения задач …….. 23
Контрольные задания …….. 35
2. Электрический нагрев сопротивлением металлических проводников……... 38
2.1. Общие сведения из теории электропроводности проводников первого рода ……..…… 38
2.2. Расчет установок электроконтактного нагрева ……. 41
2.3. Расчет установок для электроконтактной сварки ……. 48
Примеры решения задач ……... 52
Контрольные задания ……... 60
3. Электрический нагрев проводников второго рода. Электродный нагрев……... 63
3.1. Общие сведения из теории электропроводности проводников второго рода ……..…… 63
3.2. Расчет электродных водонагревателей и парообразователей …. 65
Примеры решения задач …….. 70
Контрольные задания ……... 79
4. Косвенный нагрев сопротивлением ……...……..…… 81
4.1. Открытые нагревательные элементы из специальных сплавов и методы их расчета …… 81
4.2. Трубчатые электрические нагреватели и методы их расчета … 89
4.3. Схемы включения нагревательных элементов и способы регулирования мощности электротермических установок ……. 95
Примеры решения задач …….. 97
Контрольные задания ……... 115
5. Расчет вентиляции и отопления в животноводческих и птицеводческих помещениях …… 118
5.1. Общие положения и сведения из теории вентиляции и отопления в животноводческих и птицеводческих помещениях…… 118
5.2. Расчет системы вентиляции помещения для содержания животных или птицы …… 121
5.3. Расчет системы отопления помещения для содержания животных или птицы …….. 124
5.4. Расчет электрокалориферной установки …….. 127

5.4.1. Тепловой расчет нагревательных элементов ……. 127
5.4.2. Конструктивный расчет нагревательного блока …… 130
Примеры решения задач …….. 131
Контрольные задания ……... 139
6. Расчет мощности электрокалориферной установки для сушки сена активным вентилированием ……... 141
6.1. Общие сведения о методике расчета установок для активного вентилирования…….. 141
Примеры решения задач …….. 148
Контрольные задания …….. 150
7. Расчет теплового режима парников …… 151
7.1. Общие сведения из теории расчета теплового режима парников……... 151
Примеры решения задач …….. 152
Контрольные задания …….. 154
8. Индукционный и диэлектрический нагрев …… 156
8.1. Общие сведения из теории расчета установок индукционного нагрева …… 156
8.2. Общие сведения из теории расчета установок диэлектрического нагрева …….. 164
Примеры решения задач …….. 170
Контрольные задания …….. 173
9. Расчет и выбор электротермических установок, используемых в сельскохозяйственном производстве …… 176
9.1. Общие сведения об электротермических установках сельскохозяйственного назначения……. 176
Примеры решения задач ……. 179
Контрольные задания …….. 183
Термины и определения электротермии …….. 186
Приложения…….. 188
Рекомендуемая литература……. 210
Алфавитно-предметный указатель……. 212

Учебное издание

Юдаев Игорь Викторович
Машков Сергей Владимирович
Фатхутдинов Марат Рафаилевич

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ

Учебное пособие

Подписано в печать 30.11.2018. Формат 60×841/16
Усл. печ. л. 12,7, печ. л. 13,6.
Тираж 500. Заказ №330.
Редакционно-издательский отдел ФГБОУ ВО Самарской ГСХА
446442, Самарская область, г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2
E-mail: ssaariz@mail.ru
Отпечатано с готового оригинал-макета в ООО «КНИЖНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО»
443086, г. Самара, ул. Песчаная, 1
Тел.: (846) 267-36-82

Министерство сельского хозяйства
Российской Федерации
федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Самарский государственный
аграрный университет»

Кафедра «Электрификация и автоматизация АПК»

Т. С. Гриднева, С. В. Машков

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПРАКТИКИ

Методические указания

Кинель
РИО СамГАУ
2019

УДК 621.31
ББК 32.965(07)
Г83

Гриднева, Т. С.

Г83 Производственные практики : методические указания / Т. С. Гриднева, С. В. Машков. – Кинель : РИО СамГАУ, 2019. – 26 с.

В методических указаниях определены цели и задачи производственных практик, рассмотрены организационно-правовые вопросы, даны рекомендации по организации работы обучающегосяво время прохождения производственных практик, представлены программы производственных практик, указаны документы и материалы, с которыми должен ознакомиться обучающийся во время прохождения производственных практик. Даны рекомендации по оформлению отчета о прохождении практики.

Методические указания предназначены для обучающихся по направлению 35.04.06 Агроинженерия, программа «Электрооборудование и электротехнологии в АПК».

© ФГБОУ ВО Самарский ГАУ, 2019
© Гриднева Т. С., Машков С. В., 2019

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящие указания являются методическим обеспечениемпроизводственных практик обучающихся по направлению подготовки 35.04.06 Агроинженерия, программа «Электрооборудование и электротехнологии в АПК».

Данные методические указания определяют цель и задачипроизводственных практик, форму организации проведения, специфику каждого вида практики.

Целями производственных практик являются закрепление основ теоретического обучения и практических навыков, полученных при изучении дисциплин, предшествующих производственным практикам; подготовка обучающегося к решению производственных задач и к самостоятельномувыполнению научных исследований, в том числе в рамках выпускной квалификационной работы.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРАКТИК

Производственные практики проводятся в соответствии с рабочим учебным планом и календарным графиком учебного процесса на соответствующий учебный год с учетом требований образовательного стандарта.

Местами проведения производственных практик могут являться структурные подразделения Академии; организации, предприятия и учреждения, осуществляющие процессы производства, хранения и переработки продукции растениеводства и животноводства; организации, осуществляющие электроснабжение потребителей.

Производственные практики, проводимые в организациях, предприятиях или учреждениях, организуются на основании договоров между ними и Академией.

Вопросами организации практик занимается деканат факультета и выпускающая кафедра. Общее методическое руководство практиками осуществляется кафедрой «Электрификация и автоматизация АПК».

Для руководства практикой, проводимой в организациях, предприятиях или учреждениях, назначаются руководитель практики от Академии из числа лиц, относящихся к профессорско-преподавательскому составу, как правило, научный руководитель магистранта и руководитель от организации, предприятия или учреждения.

Для руководства практикой обучающихся в структурных подразделениях Академии назначается руководитель из числа преподавателей выпускающей кафедры – научный руководитель магистранта.

Руководители практики от Академии:

- участвуют в работе по формированию перечня баз практики в текущем учебном году: ведут переговоры с представителями предприятий (учреждений, организаций), готовят письма в адрес руководителей предприятий (учреждений, организаций) о приеме обучающихся на практику, согласовывают условия проведения практики и оформления договорных отношений Академии с предприятиями (учреждениями, организациями);

- до начала практики выезжают на предприятия (в учреждения, организации) для проведения организационно-методических мероприятий по подготовке базы практики к приезду обучающихся;

- устанавливают связь с руководителями практики от предприятия (учреждения, организации) и совместно с ними составляют рабочий график (план) проведения практики;

- разрабатывают тематику индивидуальных заданий и обеспечивают заполнение дневников практикантов в части описания индивидуального задания;

- обеспечивают проведение всех организационных мероприятий перед выездом на практику (проведение собраний; инструктаж о порядке прохождения практики; инструктаж по охране труда и технике безопасности и т.д.);

- принимают участие в распределении обучающихся по рабочим местам и перемещении их по видам работ;

- несут ответственность совместно с руководителем практики от предприятия (учреждения, организации) за соблюдение обучающимися правил техники безопасности;

- осуществляют контроль за обеспечением предприятием (учреждением, организацией) условий труда и быта обучающихся;

- контролируют выполнение практикантами правил внутреннего трудового распорядка предприятия (учреждения, организации);

- осуществляют контроль за соблюдением сроков практики и ее содержанием;

- оказывают методическую помощь обучающимся при выполнении ими индивидуальных заданий и сборе материалов к курсовой или выпускной квалификационной работе в ходе преддипломной практики;

- оценивают результаты выполнения обучающимися программы практики: рассматривают отчеты о практике и дают отзывы об их работе (оформляются при заполнении соответствующих разделов дневника практиканта), принимают участие в работе комиссии по приему зачетов и выставляют на основании решения комиссии оценки по практике;

- представляют на кафедру отчет о результатах практики.

Руководители практики от предприятия (учреждения, организации):

- осуществляют контроль соблюдения практикантом календарного графика, программы практики, правил внутреннего распорядка и трудовой дисциплины, привлекают его к общественной жизни коллектива и выполнению поручений, соответствующих видам будущей профессиональной деятельности;

- предоставляет рабочие места обучающимся и обеспечивает безопасные условия прохождения практики, отвечающие санитарным правилам и требованиям охраны труда;

- проводит инструктаж обучающихся по ознакомлению с требованиями охраны труда, техники безопасности, пожарной безопасности, а также правилами внутреннего трудового распорядка;

- согласовывает индивидуальные задания, содержание и планируемые результаты практики;

- предоставляют информацию, необходимую для выполнения индивидуального задания по практике, дают заключение по отчету с оценкой работы обучающегося (оформляется при заполнении соответствующего раздела дневника практиканта);

- по результатам производственной и преддипломной практики дают рекомендации по трудоустройству обучающегося в процессе и (или) после завершения обучения в структурных подразделениях предприятия (учреждения, организации).

Выпускающие кафедры:

- участвуют в разработке и заключении договоров с предприятиями (учреждениями, организациями) о прохождении практики;

- готовят проекты приказов о практике;

- разрабатывают и осуществляют согласование программ практики;

- утверждают индивидуальные задания на практику;

- контролируют распределение обучающихся по базам;

- обеспечивают и контролируют проведение руководителями практики от Академии организационных мероприятий перед выездом обучающихся на практику;

- обеспечивают необходимой документацией обучающихся и руководителей;

- обеспечивают своевременное представление отчетной документации о практике и организуют прием отчетов по итогам практики;

- предоставляют в деканаты факультетов результаты аттестации обучающихся по итогам практики.

Деканаты факультетов:

- обеспечивают контроль аттестации обучающихся по результатам практик;

- организуют рассмотрение вопросов об организации и результатах практик факультета учеными советами факультета.

Обучающиеся при прохождении практики обязаны:

- полностью выполнять индивидуальное задание на практику;

- соблюдать действующие правила внутреннего трудового распорядка базовой организации;

- систематически отражать результаты своей деятельности в дневнике практиканта;

- своевременно подготовить отчет о результатах практики, оформленный согласно требованиям программы практики, и представить его руководителю практики от Академии;

- в установленный срок пройти промежуточную аттестацию, форма которой определяется учебным планом и программой практики.

Перед началом производственной практики выпускающая кафедра организует собрание для обучающихся, на котором им сообщают место прохождения практики; знакомят с целью, задачами и программой практики; выдают индивидуальные задания; знакомят с руководителем практики от академии; дают разъяснения по организации практики на предприятии.

Закрепление мест (включая структурные подразделения академии) и руководителей практики из числа преподавателей академии осуществляется приказом ректора.

2. НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА

2.1. Цель и задачи практики НИР

Основная цель научно-исследовательской работы заключается в формировании у обучающихся компетенций, практического опыта, в том числе профессиональных умений и навыков научно-исследовательской деятельности для последующего освоения ими компетенций по избранной программе подготовки.

Научно-исследовательская работа направлена на приобретение опыта в исследовании актуальной научной проблемы, а также ана-

лиза и подготовки необходимых материалов для выполнения исследований по теме магистерской выпускной квалификационной работы (ВКР). Практика закрепляет знания и умения, приобретаемые обучающимися в результате освоения теоретических курсов, и способствует комплексному формированию универсальных и общепрофессиональных компетенций.

Задачами практики в соответствии с направлением подготовки и видами профессиональной деятельности являются:

– сбор, обработка, анализ и систематизация научно-технической информации по теме исследования, выбор методик и средств решения задачи;

– подготовка научно-технических отчетов, обзоров, публикаций по результатам выполненных исследований.

В результате прохождения практики магистрант должен:

Владеть:

– навыками планирования научного исследования;

– навыками сбора, обработки и систематизации информации;

– навыками вырабатывания стратегии действий при обработке и систематизации информации.

Уметь:

– подбирать необходимые источники по теме исследования (литературу, патентные материалы, научные отчеты, техническую документацию и др.);

– проводить анализ источников информации по теме исследований, их систематизацию и обобщение;

– готовить отчетные документы.

Знать:

– методику проведения современных исследований;

– основные принципы планирования научно-исследовательской работы;

– методы анализа и обработки информации;

– отечественный и зарубежный опыт по исследованию объектов-аналогов с целью оценки научной и практической значимости.

2.2. Структура и содержание практики НИР

Прохождение практики включает в себя следующие этапы:

- *ознакомительно-подготовительный*. Включает в себя: ознакомление с программой, целью и задачами практики; ознакомление

с заданием на практику; вводный инструктаж по технике безопасности; ознакомление с материально-технической базой кафедры или организации; ознакомление с методическими материалами и структурой отчета по практике;

- *теоретический*. Включает в себя: анализ литературных источников, теоретических предпосылок и положений по теме исследования; ознакомление с приборным оборудованием; составление библиографии по теме исследования;

- *выполнение индивидуального задания*. Включает в себя: анализ полученных результатов, изучение существующих методик проведения исследований по заданной теме. формирование методики проведения исследований по заданной теме;

- *заключительный*. Включает в себя: оформление отчета о практике; подготовка к защите отчета о практике.

Основные литературные источники по данному виду производственной практики.

3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ (ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ) ПРАКТИКА

3.1. Цель и задачи технологической практики

Основная цель производственной технологической (проектно-технологической) практики заключается в приобретении профессиональных навыков эксплуатации средств электрификации и автоматизации технологических процессов при производстве, хранении и переработке продукции растениеводства и животноводства; изучении электротехнологий в сельском хозяйстве; приобретении навыков разработки программ и методик проведения научных исследований при технических работах.

Практика закрепляет знания и умения, приобретаемые обучающимися в результате освоения теоретических курсов, и способствует комплексному формированию профессиональных компетенций.

Задачами производственной технологической (проектно-технологической) практики в соответствии с направлением подготовки и видами профессиональной деятельности являются:

– изучение состояния и перспектив развития электротехнологий, систем электроснабжения, электрифицированных и автоматизированных технологических процессов в сельском хозяйстве;

– изучение структуры и организации, технологической, экспериментально-исследовательской деятельности на предприятиях агропромышленного профиля различных форм собственности;

– изучение основных технологических процессов с применением средств электрификации и автоматизации в сельском хозяйстве;

– подготовка научно-технических отчетов, обзоров, публикаций по результатам выполненной работы.

В результате прохождения практики магистрант должен:

владеть:

- способностью организовать на предприятиях агропромышленного комплекса высокопроизводительное использование и надежную работу сложных технических систем для производства и хранения сельскохозяйственной продукции;

- навыками проведения инженерных расчетов для проектирования систем и объектов электроснабжения, электрификации и автоматизации объектов в АПК.

уметь:

- проводить анализ работы и находить пути повышения надежности и эффективности работы систем энергообеспечения, электрификации, контроля и автоматизации технических систем производства и хранения сельскохозяйственной продукции на предприятиях АПК;

– проводить поиск и обоснованно выбирать инновационные решения в инженерно-технической сфере, связанной с энергообеспечением, электрификацией, контролем и автоматизацией технологических процессов в АПК;

- проводить инженерные расчеты схем, систем и оборудования электрификации, контроля и автоматизации объектов сельскохозяйственного назначения.

знать:

- современное оборудование для энергообеспечения, электрификации, контроля и автоматизации технологических процессов в АПК.

3.2. Структура и содержание технологической практики

Прохождение практики включает в себя следующие этапы:

- *подготовительно-ознакомительный*. Включает в себя: ознакомление с программой практики, целью и задачами практики, инструктаж по технике безопасности, ознакомление с предприятием, ознакомление с приборным оборудованием, инструктаж на рабочем месте;

- *производственно-технологический этап.* Включает в себя: ознакомление с электрооборудованием, энергетическими установками и средствами автоматизации для электрифицированных и автоматизированных технологических процессов, системой электроснабжения на предприятии, выполнение работ по профилю организации, связанных с работой электрооборудования, средств автоматизации, энергетических установок;

- *выполнение индивидуального задания*. Включает в себя: анализ существующих методов и устройств (патентный поиск) по теме исследования, разработку способа, метода, схемы устройства по теме исследования, разработка опытного (макетного) образца, лабораторной установки, теоретическое обоснование способа, метода, схемы устройства по теме исследования;

- з*аключительный*. Включает в себя: оформление отчета о практике; подготовка к защите отчета.

Основные литературные источники по данному виду производственной практики [2, 3, 5, 6, 10, 11].

4. ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ПРАКТИКА

4.1. Цель и задачи педагогической практики

Цель практики – формирование компетенций, закрепление и углубление теоретической подготовки обучающегося, приобретение им практических навыков, а также опыта самостоятельной профессиональной деятельности.

Педагогическая практика направлена на приобретение магистрантами опыта реализации целостного образовательного про-

цесса; выполнение комплексного анализа педагогического и методического опыта в конкретной предметной области; проектирование отдельных компонентов образовательного процесса; экспертизу отдельных элементов методической системы обучения; организацию и проведение педагогического эксперимента; апробацию различных систем диагностики качества образования; реализацию инновационных педагогических технологий.

Задачей педагогической практики является подготовка обучающегося к выполнению функций преподавателя в образовательных организациях.

Овладение обучающимися базовыми педагогическими компетенциями позволит:

1. Формировать и развивать профессиональные навыки преподавателя высшей школы.

2. Овладевать основами педагогического мастерства, умениями и навыками самостоятельного ведения учебно-воспитательной и преподавательской работы.

3. Приобретать навык педагога-исследователя, владеющего современным инструментарием науки для поиска и интерпретации информационного материала с целью его использования в педагогической деятельности.

4. Формировать у магистранта представление о содержании учебного процесса в академии.

5. Развивать аналитическую и рефлексивную деятельность начинающих преподавателей.

6. Формировать умения по подготовке и проведению учебных занятий со студентами с использованием современных педагогических технологий.

7. Формировать самооценку, ответственность за результаты своего труда.

В результате прохождения практики магистрант должен:

владеть:

– навыками создания недискриминационной среды взаимодействия в педагогическом процессе;

– современными методами передачи информации.

уметь:

– представлять информацию группе людей;

– составлять и редактировать учебно-методические разработки;

– передавать профессиональные знания с использованием современных педагогических методик и технологий.

4.2. Структура и содержание педагогической практики

Прохождение практики включает в себя следующие этапы:

- *организационно-подготовительный*. Включает в себя: ознакомление с программой, целью, задачами практики; ознакомление с заданием на практику; вводный инструктаж по технике безопасности; ознакомление с методическими материалами и структурой отчета о практике; сбор и анализ литературного материала для выполнения заданий практики;

- *ознакомительно-педагогический*. Включает в себя: посещение лекционных занятий ведущих преподавателей; посещение практических занятий и лабораторных работ, занятий по учебной практике; изучение учебно-методического материала по посещенным занятиям;

- *учебно-методический*. Включает в себя: сбор и обработка материалов по теме лекции, практического занятия, лабораторной работы в соответствии с индивидуальным заданием на практику; оформление материала в виде конспекта лекции и/или презентации, методических указаний для проведения практического занятия, лабораторной работы в соответствии с индивидуальным заданием на практику; проведение лекции, практического занятия, лабораторной работы в соответствии с заданием на практику;

- *заключительный*. Включает в себя: оформление отчета о практике; подготовка к защите отчета о практике.

Педагогическая практика проводится на базе академии в специализированных аудиториях инженерного факультета и в учебных заведениях среднего профессионального образования.

Основные литературные источники по данному виду производственной практики [13-16].

5. ПРЕДДИПЛОМНАЯ ПРАКТИКА

5.1. Цель и задачи преддипломной практики

Целью преддипломной практики обучающихся в соответствии с ФГОС ВО является сбор и анализ фактического материала по тематике выпускной квалификационной работы.

Преддипломная практика направлена на закрепление теоретических знаний, приобретение практических умений и навыков на основе выполнения обучающимися сбора, анализа, обработки и описания необходимой информации в области их будущей профессиональной деятельности и формирование компетенций при самостоятельной работе с нормативной, отчетной, технической и технологической документацией. Практика закрепляет знания и умения, приобретенные обучающимися в результате освоения теоретических курсов, и способствует комплексному формированию компетенций, а также профессионально важных качеств: техническое мышление, креативность, самостоятельность, организованность, внимательность.

Задачами преддипломной практики являются:

– анализ российских и зарубежных тенденций развития электрификации и автоматизации технологических процессов в сельскохозяйственном производстве, сбор, обработка, анализ и систематизация научно-технической информации по теме исследования;

– сбор необходимых сведений для написания выпускной квалификационной работы.

В результате прохождения практики обучающийся должен:

владеть:

– навыками поиска вариантов решения поставленной проблемы на основе доступных источников информации;

– навыками решения задач в области основных средств электрифицированных и автоматизированных технологических процессов, энергетических установок, средств автоматизации, электрооборудования и электротехнологий в АПК;

уметь:

– анализировать проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними;

– осуществлять поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации;

– определять в рамках выбранного алгоритма вопросы (задачи), подлежащие дальнейшей разработке;

– решать задачи по разработке или модернизации электрифицированных, автоматизированных и электротехнологических процессов производства и переработки с.-х. продукции, энергообеспечения;

– осуществлять технико-экономическое обоснование предлагаемых разработок.

5.2. Структура и содержание преддипломной практики

Прохождение практики включает в себя следующие этапы:

- *подготовительный*. Включает в себя: ознакомление с программой, целью и задачами практики; ознакомление с заданием на практику; вводный инструктаж по технике безопасности; ознакомление с методическими материалами и структурой отчета по практике; ознакомление предприятием, организацией или учреждением, с материально-технической базой кафедры, предприятия, организации или учреждения;

- *основной*. Включает в себя: сбор и анализ материала по тематике выпускной квалификационной работы, разработку способа, метода, схемы устройства по теме исследования, проведение теоретических исследований, организация и проведение экспериментальных исследований, сбор эмпирических данных и их интерпретация, проведение инженерных и экономических расчетов, написание разделов выпускной квалификационной работы;

- *заключительный*. Включает: оформление отчета о практике; подготовка к защите отчета о практике.

При прохождении преддипломной практики основными разрабатываемыми вопросами, как правило, являются:

– анализ литературных источников по проблеме исследования;

– анализ информации для решения установленной проблемы по теме исследования;

– разработка конструктивного или технологического решения;

– обоснование экономической эффективности предложенных мероприятий.

Основная и дополнительная литература определяется руководителем практики в индивидуальном задании, исходя из тематики выпускной квалификационной работы.

6. ОТЧЕТНОСТЬ ПО ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПРАКТИКАМ

6.1. Содержание отчета о практике

Отчет о производственной практике должен содержать обязательные разделы:

– *титульный лист* (прил. 1);
– *задание* на практику (прил. 2);
– *план-график* прохождения практики (прил. 2);
– *содержание*;
– *введение*;
– *основная часть*;
– *дневник практики* (прил. 3).

В течение прохождения производственных практик обучающийся обязан вести дневник практики, который является частью отчета о практике и используется при его написании.

В дневнике необходимо отразить кратко виды работ, выполненные обучающимся на практике.

Дневники периодически проверяются руководителем практики.

В конце практики дневник должен быть подписан обучающимся и руководителем практики от академии.

6.2. Требования к оформлению отчета о практике

Текстовая часть отчета выполняется по разработанной на кафедре форме от руки либо на компьютере на листах формата А4 (210×297 мм) без рамки, с соблюдением следующих размеров полей: левое – 30, правое – 10, верхнее – 15, нижнее – 20 мм. При выполнении текстовой части на компьютере страницы текста подлежат обязательной нумерации, которая проводится арабскими цифрами с соблюдением сквозной нумерации по всему тексту. Тип шрифта: *TimesNewRoman.* Шрифт основного текста: обычный, размер 14 пт.

Межстрочный интервал: полуторный. Шрифт текста в таблицах: обычный, размер 12 пт.

6.3. Аттестация по итогам практики

Итоговой формой контроля знаний, умений и навыков по производственной практике является дифференцированный зачет. По окончании практики обучающийся не позднее двух недель с начала учебного семестра, следующего за практикой, сдает отчет на проверку руководителю практики от академии. В последующие две недели защищает отчет перед комиссией. Сроки проведения защиты отчетов и состав комиссии назначается заведующим кафедрой. В состав комиссии входят заведующий кафедрой, руководитель практики от академии, ведущий преподаватель кафедры и, по возможности, руководитель практики от предприятия, учреждения или организации.

Критерии и шкала оценивания прохождения обучающимися производственной практики:

- *Зачет с оценкой «отлично»* предполагает, что обучающийся выполнил в срок и на высоком уровне весь намеченный объем работы в соответствии с индивидуальным заданием на практику; продемонстрировал в ходе практики высокий уровень обладания всеми, предусмотренными требованиями к результатам практики, навыками, сформированность компетенций; оформил отчет в соответствии с требованиями и в установленный срок; проявил самостоятельность, творческий подход и высокий уровень подготовки по вопросам профессиональной деятельности, организации работы коллектива, самоорганизации в ходе защиты отчета; в ходе защиты отчета продемонстрировал умение излагать материал в логической последовательности, систематично, аргументировано, грамотно.

- З*ачет с оценкой «хорошо»* предполагает, что обучающийся полностью выполнил задание по практике, однако допустил незначительные недочеты при расчетах и написании отчета, в основном технического характера; письменный отчет о прохождении практики подготовил в установленный срок в соответствии с требованиями, но с незначительными недочетами, дневник практики составлен в соответствии с предъявляемыми требованиями, но с незначительными недочетами, содержит ежедневные сведения о действиях, выполняемых практикантом. Оценка «хорошо» предполагает при устном отчете обучающегося о результатах прохождения практики

ответы на вопросы преподавателя с незначительными недочетами, которые не исключают сформированности у обучающегося соответствующих компетенций, а также умение излагать материал в основном в логической последовательности, систематично, аргументировано, грамотно.

- З*ачет с оценкой «удовлетворительно*» предполагает, что обучающийся затруднялся с решением поставленных перед ним задач и допустил существенные недочеты в расчетах и в составлении отчета; отчет составлен с недочетами, дневник практики составлен в основном в соответствии с предъявляемыми требованиями, но с недочетами, содержит ежедневные сведения о действиях, выполняемых обучающимся. Оценка «удовлетворительно» предполагает, что в ходе защиты отчета обучающийся продемонстрировал использование научной терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы, но испытывал затруднения, которые не исключают сформированности у обучающегося соответствующих компетенций на необходимом уровне.

- *Зачет с оценкой «неудовлетворительно»* предполагает, что обучающийся не выполнил задание практики, не смог в ходе практики продемонстрировать сформированность компетенций, предусмотренных требованиями к результатам практики; письменный отчет не соответствует установленным требованиям, дневник практики составлен не в соответствии с предъявляемыми требованиями, не содержит ежедневных сведений о действиях, выполняемых практикантом. Оценка «неудовлетворительно» предполагает, что в ходе защиты отчета обучающимся не были даны ответы на вопросы комиссии, не продемонстрировано умение излагать материал в логической последовательности, аргументировано, грамотно.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Шашкова, И. Г. Информационные технологии в науке и производстве : учеб. пособие / И. Г. Шашкова, Ф. А. Мусаев, В. С. Конкина, Е. И. Ягодкина. – Рязань : ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2014. – 555 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://lib.rucont.ru/efd/243267.

2. Беззубцева, М. М. Энергоэффективные электротехнологии в агроинженерном сервисе и природопользовании : учеб. пособие / М. М. Беззубцева, В. С. Волков, А. В. Котов. – Санкт-Петербург : СПбГАУ, 2012. – 240 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://lib.rucont.ru/efd/258990.

3. Коломиец, А. П. Электропривод и электрооборудование: учебник [Текст] / А. П. Коломиец, Н. П. Кондратьева, И. Р. Владыкин, С. И. Юран. – М. : КолосС, 2008. – 328 с.

4. Ревко-Линардато, П. С. Методы научных исследований : учебное пособие / П. С. Ревко-Линардато. – Таганрог : Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. – 55 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://egf.sfedu.ru/files/Editor_Phil/Revko_Metodi_NI.pdf.

5. Щербаков, Е. Ф. Электроснабжение и электропотребление в сельском хозяйстве : учебное пособие / Е. Ф. Щербаков, Д. С. Александров, А. Л. Дубов. – Санкт-Петербург : Лань, 2018. – 392 с.

6. Никитенко, Г. В. Электропривод производственных механизмов : учебное пособие / Г. В. Никитенко. – Ставрополь : СтГАУ, 2012. – 240 с.

7. Гордеев, А .С. Моделирование в агроинженерии : учебник / А. С. Гордеев. – Санкт-Петербург : Лань, 2014. – 384 с. – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/45656. – Загл. с экрана.

8. Федоренко, В. Ф. Возобновляемые источники энергии: тенденции и перспективы развития: науч. аналит. обзор [Электронный ресурс] / В. Ф. Федоренко, В. С. Тихонравов, Н. П. Мишуров. – пос. Правдинский, 2015. – 128 с. – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/104322.

9. Завражнов, А. И. Современные проблемы науки и производства в агроинженерии / А. И. Завражнов. – СПб. : Лань, 2013. – 496 с. – Режим доступа: http://e.lanbook.com/book/5841.

10. Правила устройства электроустановок [Текст]. – М. : Омега-Л, 2007. – 268 с.

11. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – М. : НЦ ЭНАС, 2006 – 304 с.

12. Шевченко, М. В. Светотехника и электротехнология. Источники оптического излучения : учеб. пособие / М. В. Шевченко, А. В. Калинин. – ФГБОУ ВПО ДальГАУ. – : Благовещенск, 2013.

13. Современные образовательные технологии : учеб. пособие / под ред. Л. А. Рыбцова. – Екатеринбург : издательство Уральского университета, 2014. – 94 с. Режим доступа: http://rucont.ru/efd/292958.

14. Трайнев, В. А. Новые информационные коммуникационные технологии в образовании [Текст] / В. Ю. Теплышев, И. В. Трайнев, В. А. Трайнев. – 2-е изд. – М. : ИТК «Дашков и К», 2013. – 319 с. Режим доступа: http://rucont.ru/efd/287016.

15. Штейнберг, В. Э. Теория и практика дидактической многомерной технологии / В. Э. Штейнберг. – М. : Народное образование, 2015. – 354 с. – Режим доступа: http://rucont.ru/efd/324355.

16. Юдина, О. И. Педагогическая диагностика : практикум / О. И. Юдина. – Оренбург : ОГУ, 2014. – 112 с. – Режим доступа: http://rucont.ru/efd/293605.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Образец титульного листа отчета о прохождении практики

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Самарский государственный аграрный университет»

Кафедра «Электрификация и автоматизация АПК»

ОТЧЕТ
о прохождении _____практики
вид практики

Выполнил:
Студент __ курса
Группы __
Форма обучения _____
(очная, заочная)
Направления подготовки _____
Личный номер _____
(номер зачётной книжки)

_____
(фамилия, имя, отчество студента полностью)

К защите допущен: _____ / _____ /
(подпись) *(инициалы, фамилия)*
Оценка _____ _____ / _____
(цифрой и прописью) _____ / _____
_____ / _____
(подписи членов комиссии) *(расшифровка подписи)*

Самара 20___

Приложение 2

Образец индивидуального задания

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Самарский государственный аграрный университет»

Факультет Инженерный
Кафедра «Электрификация и автоматизация АПК»
Направление 35.04.06 «Агроинженерия»

ЗАДАНИЕ

На_____
вид практики

Обучающийся_____
(фамилия, имя, отчество полностью, № группы)

Место прохождения практики_____
(наименование организации)

_____

Срок прохождения практики с _____ по _____

Содержание задания на практику (перечень подлежащих рассмотрению вопросов): _____

_____

Индивидуальное задание _____

_____

Дата выдачи задания «___»_____ 20__ г.

Руководитель практики _____/_____/
подпись *И.О. Фамилия*

Принял к исполнению _____/_____/
подпись *И.О. Фамилия (обучающегося)*

«____»_____20___г.

Окончание приложения 2

План (график)

Прохождения практики _____

вид практики

№ п/п	Наименование этапов прохождения практики	Сроки выполнения

Обучающийся _____ /_____/

подпись *И.О. Фамилия (обучающегося)*

Руководитель практики от академии _____ /_____/

подпись *И.О. Фамилия*

Руководитель практики от организации _____ /_____/

подпись *И.О. Фамилия*

Приложение 3

Образец оформления дневника

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Самарский государственный аграрный университет»

Инженерный факультет

Кафедра «Электрификация и автоматизация АПК»

ДНЕВНИК
прохождения _____ практики
вид практики

студента ___ курса ___ группы инженерного факультета,
обучающегося по направлению: 35.04.06 Агроинженерия
программа «Электрооборудование и электротехнолоии в АПК»

_____
(фамилия, имя, отчество)

Дата	Наименование работ	Отметка о выполнении

Обучающийся _____ _____
(подпись) *(И.О. Фамилия)*

Руководитель практики _____ _____
(подпись) *(И.О. Фамилия)*

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие ……..... 3

1. Общие положения организации проведения производственных практик .....……..... 4

2. Научно-исследовательская работа ……....……. 7

2.1. Цель и задачи практики НИР …….....….. 7

2.2. Структура и содержание практики НИР …….....… 8

3. Технологическая (проектно-технологическая) практика …..... 9

3.1. Цель и задачи технологической практики .....……..... 9

3.2. Структура и содержание технологической практики ....…..... 10

4. Педагогическая практика…….....…. 11

4.1. Цель и задачи педагогической практики ..…….…..... 11

4.2. Структура и содержание педагогической практики ....…..... 13

5. Преддипломная практика…….... 14

5.1. Цель и задачи преддипломной практики .....……..... 14

5.2. Структура и содержание преддипломной практики .....…..... 15

6. Отчетность по производственным практикам ……... 16

6.1. Содержание отчета о практике .....…….... 16

6.2. Требования к оформлению отчета о практике .....…….. 17

6.3. Аттестация по итогам практики .....……. 17

Рекомендуемая литература .....…….....…… 19

Приложения .....……...…… 21

Учебное издание

Гриднева Татьяна Сергеевна

Машков Сергей Владимирович

Производственные практики

Методические указания

Отпечатано с готового оригинал-макета
Подписано в печать 15.05.2019. Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л. 1,5; печ. л. 1,6.
Тираж 50. Заказ № 142.

Редакционно-издательский отдел ФГБОУ ВО Самарского ГАУ
446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2
Тел.: 8 939 754 04 86, доб. 608
E-mail: ssaariz@mail.ru

Министерство сельского хозяйства
Российской Федерации
Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Самарский государственный
аграрный университет»

ПОДГОТОВКА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Методические указания

для обучающихся по направлению подготовки 35.04.06 Агроинженерия

Кинель
РИО Самарского ГАУ
2019

УДК 631.1
П44

П44 Подготовка выпускной квалификационной работы : методические указания / сост. Т. С. Гриднева, О. С. Володько, Ю. А. Киров. – Кинель : РИО Самарского ГАУ, 2019. – 31 с.

Методические указания по выполнению и оформлению выпускной квалификационной работы содержат цели и задачи написания выпускной квалификационной работы, содержание, порядок оформления и защиты. Учебное издание предназначено для обучающихся по направлению подготовки: 35.04.06 Агроинженерия.

© ФГБОУ ВО Самарский ГАУ, 2019
© Гриднева Т. С., Володько О. С.,
Киров Ю. А., составление, 2019

ПРЕДИСЛОВИЕ

Методические указания «Подготовка выпускной квалификационной работы» являются методическим обеспечением, определяющим порядок выполнения выпускных квалификационных работ, обучающихся по направлению подготовки 35.04.06 Агроинженерия программы магистратуры, разработаны в соответствии с действующим учебным планом и требованиями государственного образовательного стандарта (ФГОС ВО) к квалификационной характеристике магистра.

Цель методических указаний – способствовать формированию навыков написания и оформления выпускной квалификационной работы, а также представления ее к защите.

В методических указаниях представлены общие требования к содержанию, оформлению, структуре выпускной квалификационной работы (ВКР) обучающегося; перечень тем ВКР и последовательность выполнения работы.

Изучив материал методических указаний, обучающийся должен овладеть навыками написания выпускной квалификационной работы магистра в соответствии с требованиями к ее оформлению, знать порядок представления выпускной квалификационной работы в ГЭК, иметь представления о порядке ее защиты и уметь представить материал, т.е. правильно оформить презентации.

Методические указания «Подготовка выпускной квалификационной работы» предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.04.06 Агроинженерия.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Выпускная квалификационная работа (ВКР) выполняется в соответствии с учебным планом и имеет своей целью систематизацию, закрепление и расширение теоретических и практических знаний по направлению подготовки, применение этих знаний при решении конкретных профессиональных задач, развитие навыков ведения самостоятельной работы, выяснение подготовленности студентов для самостоятельной работы в области эксплуатации транспортных средств в современных условиях.

Цель выпускной квалификационной работы заключается в достижении магистрантом необходимого уровня знаний, компетенций, умений и навыков, позволяющих ему, как будущему специалисту, успешно воздействовать на объекты профессиональной деятельности и добиваться высоких технико-экономических показателей их развития в долгосрочной перспективе.

Для достижения поставленных целей магистрант должен решить следующие задачи:

- выбрать тему выпускной квалификационной работы;
- обосновать актуальность выбранной темы выпускной квалификационной работы, сформировать цель и задачи работы, определить предмет и объект исследований;
- изучить и проанализировать теоретические и методологические положения, нормативно-техническую документацию, статистические материалы, справочную литературу и законодательные акты в соответствии с выбранной темой выпускной квалификационной работы; определить целесообразность их использования в ходе выполнения работы;
- выявить и сформировать существующие проблемы по тематике выполняемой работы, определить причины их возникновения и факторы, способствующие и препятствующие их разрешению, учесть возможные риски модернизации машин, механизмов и/или технологий;
- обосновать направления решения проблем, учитывать факторы внутренней и внешней среды;
- разработать конкретный план мероприятий по повышению эффективности использования машин, механизмов или технологий;

- обосновать и рассчитать экономическую эффективность разработанных мероприятий;

- уметь логично и научно обоснованно формировать теоретические и практические рекомендации, обобщать выводы и результаты из проведенного анализа, разрабатывать новые технологии и модернизировать существующие, а также профессионально планировать конкретные мероприятия по их внедрению.

- оформить результаты выпускной квалификационной работы в соответствии с действующими стандартами и требованиями.

Выпускная квалификационная работа является заключительным этапом обучения магистрантов в высшем учебном заведении и направлена на систематизацию, закрепление и углубление знаний, навыков по направлению и эффективное применение этих знаний, умений, навыков по направлению и эффективное применение этих знаний решении конкретных задач в сфере профессиональной деятельности.

Выпускная квалификационная работа является результатом самостоятельной работы магистранта. Качество ее выполнения позволяет дать дифференцированную оценку квалификации выпускника по выполнению своих будущих обязанностей на предприятии. Если выпускная квалификационная работа выполнена на высоком теоретическом и практическом уровне, она может быть представлена руководству предприятия, на материалах которого выполнялась выпускная квалификационная работа, для принятия решения о возможности внедрения результатов выпускной квалификационной работы.

Выпускная квалификационная работа выполняется в виде магистерской диссертации, дипломного проекта или дипломной работы. Структура выпускной квалификационной работы и требования к ее содержанию, порядок защиты выпускной квалификационной работы и порядок выполнения и представления в государственную экзаменационную комиссию выпускной квалификационной работы представлены в СМК 04-46-2014 «Положение о выпускной квалификационной работе по реализуемым программам ФГОС».

ОРГАНИЗАЦИЯ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Основные этапы выполнения выпускной квалификационной работы следующие: выбор темы, сбор и обработка литературных данных, выбор объекта и методов исследования, проведение исследований, анализ и обобщение полученных результатов, оформление работы.

Темы выпускных квалификационных работ определяются в соответствии с профилем подготовки. Перечень примерных тем формируется и утверждается на заседании выпускающей кафедры. Тематика выпускных квалификационных работ подлежит ежегодному обновлению, соответствует современному уровню развития науки и потребностям профессиональной практики, формируется с учетом предложений работодателей по направлению и профилю подготовки. Примерная тематика выпускных квалификационных работ магистрантов профилей «Технические системы в агробизнесе», «Электрооборудование и электротехнологии в АПК», «Эксплуатация транспортных средств» приведена в приложении 1.

Обучающийся имеет право:

- выбрать тему из предложенной выпускающей кафедрой тематики ВКР на основании личного заявления (прил. 2);

- выбрать тему, предложенную организацией-работодателем, в соответствии с ФГОС ВО по направлению и программе подготовки. В этом случае работодатель оформляет заявку на имя ректора, проректора по учебной работе или декана факультета с предложением конкретной темы исследования (прил. 3);

- предложить свою тему ВКР с обоснованием целесообразности ее разработки при условии соответствия темы направлению и профилю подготовки (прил. 4).

Представленная тематика носит примерный характер и может уточняться в зависимости от места прохождения производственной практики и возможностей сбора материала для соответствующих разделов выпускной квалификационной работы.

Выпускная квалификационная работа может быть выполнена на материалах предприятий АПК различных форм собственности.

Одновременно с выбором темы определяется руководитель ВКР из числа профессорско-преподавательского состава

выпускающих кафедр. Тема и руководитель ВКР утверждаются приказом ректора по представлению декана факультета.

В соответствии с темой работы руководитель выдает обучающемуся задание, разрабатывает календарный план с указанием сроков выполнения отдельных этапов работы. Задание и план выполнения ВКР утверждается заведующим выпускающей кафедры.

Руководитель должен составить письменный отзыв о ВКР. Форма отзыва руководителя с заключением о допуске ВКР к защите приведена в приложении 6.

Законченная работа, подписанная обучающимся, представляется научному руководителю, который после просмотра и одобрения подписывает ее.

Решение о допуске ВКР к защите принимается заведующим выпускающей кафедры после предварительной защиты ее перед комиссией.

К предварительной защите обучающийся представляет:

- задание на ВКР, подписанное обучающимся, руководителем и заведующим кафедрой;
- полный вариант ВКР;
- доклад о результатах ВКР;
- презентацию работы в формате MS PowerPoint (от 12 до 20 слайдов);
- протокол проверки ВКР на заимствование;
- отзыв руководителя.

Законченная и оформленная в соответствии с требованиями ВКР вместе с ее электронной версией, письменным отзывом руководителя, протоколом проверки работы на заимствование и рецензией представляется в деканат за 5 дней до начала работы ГЭК.

СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Содержание выпускной квалификационной работы должно раскрывать выбранную обучающимся тему. Объем работы должен составлять ориентировочно 60-70 страниц машинописного текста. При этом ВКР должна быть оформлена в соответствии с рекомендациями, изложенными в данном методическом указании.

Структура ВКР:

- титульный лист;
- задание на ВКР;
- реферат;
- оглавление;
- введение;
- основная часть;
- экономическое обоснование;
- выводы и предложения;
- список использованной литературы и источников;
- приложение.

Требования к основным элементам структуры ВКР.

Титульный лист является первой страницей ВКР и оформляется в соответствии с приложением 7.

Задание разрабатывает руководитель ВКР и утверждает заведующий выпускающей кафедры (прил. 8).

Реферат содержит краткое, точное изложение содержания работы, включающее в себя основные сведения об объеме текстового материала, количество иллюстраций, таблиц, формул, приложений, использованных источников (прил. 9).

В **оглавлении** перечисляют введение, заголовки разделов (глав) и подразделов, выводы и предложения, список использованной литературы и источников, приложения.

Во **введении**, как правило, указываются актуальность исследуемой темы ВКР, цель и задачи проводимого исследования или разработки.

Основная часть выпускной квалификационной работы, как правило, включает не менее трех разделов, может быть представлена теоретическим и практическим разделами, в соответствии с выданным заданием. В основной части ВКР приводятся данные, отражающие сущность, методику и основные результаты исследований.

В **экономическом обосновании** ВКР проводят расчет стоимости и экономической эффективности предлагаемой разработки. На основе полученных расчетов определяется срок окупаемости разработки.

В выводах и предложениях обобщаются результаты ВКР, формулируются выводы и предложения, возможные перспективы

применения результатов на практике. Количество выводов должно соответствовать числу задач, поставленных в ВКР.

В конце выводов и предложений должна быть подпись обучающегося и дата окончания оформления выпускной квалификационной работы.

В **список использованной литературы и источников** включаются все источники, расположенные в порядке появления ссылок в тексте или по алфавиту.

Приложение выпускной квалификационной работы оформляется как ее продолжение на последующих страницах. В приложение выносится часть второстепенного материала, который при включении в основную часть выпускной работы загромождал бы текст. К вспомогательному материалу, включаемому в приложение, можно отнести вспомогательные таблицы, графики, акты о внедрении результатов исследований, иллюстрации вспомогательного характера и другую информацию.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Текст ВКР должен быть напечатан строчными буквами на листах формата А4 через полтора интервала. Размер шрифта – 14 пт, Times New Roman, абзацный отступ 1,25 см. Текст и расчеты выполняются на одной стороне листа белой бумаги формата

А4 (210×297) по ГОСТ 2.301-68. Допускается представлять иллюстрации и таблицы на листах формата А2 (420×594) по ГОСТ 2.301-68. Должны соблюдаться следующие размеры полей: левое – 30 мм, правое – 10 мм, верхнее – 15 мм, нижнее – 20 мм.

Опечатки, описки, графические неточности допускается исправлять подчисткой или закрашиванием белой краской и нанесением на том же месте исправленного текста компьютерным или ручным способом.

Фамилии, названия учреждений, организаций, фирм, названия изделий и другие собственные имена в тексте работы приводятся на языке оригинала. Допускается транслитерировать собственные имена и приводить название организации в переводе на язык работы с добавлением (при первом упоминании) оригинального названия.

Сокращение русских слов и словосочетаний должно производиться по ГОСТ 7.12-93.

Объем выпускной квалификационной работы без списка использованной литературы и источников и приложений не должен превышать 70 страниц текста.

Текст основной части делят на разделы и подразделы. Заголовки разделов печатаются заглавными (прописными), а подразделов строчными буквами, шрифт 14 обычный, без абзацного отступа, выравнивание по середине. Не допускается перенос слов в заголовках. Точку в конце заголовка не ставят. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

Каждый раздел начинается с нового листа (страницы).

Расстояние между заголовком и текстом должно быть равно 7-10 мм (одна пропущенная строка 1,5 интервалом).

Требования к оформлению нумерации текста. Страницы работы нумеруют арабскими цифрами. На титульном листе, ведомости проекта, бланке задания, оглавлении и реферате номер не ставится, но включается в общую нумерацию работы. На страницах номер проставляют в центре нижней части листа без точки. Нумерация начинается с титульного листа ВКР, а номера страниц проставляются со второго листа введения.

Разделы должны иметь порядковую нумерацию в пределах всей работы и обозначаться арабскими цифрами.

Подразделы нумеруются арабскими цифрами в пределах раздела.

Требования к оформлению иллюстраций. Иллюстрации выполняются на компьютере. Иллюстрации должны быть расположены так, чтобы их было удобно рассматривать без поворота работы или с поворотом по часовой стрелке. Иллюстрации располагают после первой ссылки на них.

Иллюстрации (таблицы), чертежи, схемы, которые расположены на отдельных страницах работы, включают в общую нумерацию. Допускается также нумерация по разделам.

Иллюстрации (кроме таблиц) обозначаются «Рис.» и нумеруются последовательно арабскими цифрами сквозной нумерацией и его наименование располагают посередине строки, либо нумеруются по разделам.

В тексте при ссылках на иллюстрации следует писать «... в соответствии с рисунком 2», либо (рис. 2).

Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами, с указанием номера приложения, например, «рис. П.1.3».

Требования к оформлению таблиц. Цифровой материал, как правило, должен оформляться в виде таблиц. Таблицы должны быть помещены в тексте после абзацев, содержащих ссылку на них. Допускается печатать таблицы на следующей после ссылки странице. Таблицы, имеющие много граф, печатаются в альбомной ориентации на отдельной странице. Если таблиц более одной, они нумеруются. Нумерация сквозная либо по разделам. В тексте при ссылках на таблицы следует писать « …из таблицы 4 видно», либо (табл. 4).

Перед таблицей (справа) печатается слово «Таблица» и порядковый номер таблицы (точка после номера таблицы не ставится). Название таблицы печатается в середине следующей строки (точка после названия таблицы не ставится). Шрифт внутри таблицы – 13, интервал одинарный. В отдельных случаях при большом объеме данных, приводимых в таблице, допускается 12 шрифт.

Требования к оформлению формул. Формулы должны быть оформлены в редакторе формул Equation Eduor и вставлены в документы как объект.

Все формулы нумеруют арабскими цифрами в пределах раздела. Номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы в разделе, разделенных точкой. Номер указывают с правой стороны листа на уровне формулы в круглых скобках.

Пояснение значений символов и числовых коэффициентов следует приводить непосредственно под формулой в той же последовательности, в какой они были даны в формуле. Значение каждого символа и числового коэффициента следует давать с новой строки. Первую строку объяснения начинают со слов «где» без двоеточия.

Требования к оформлению списка использованной литературы и источников. Список использованной литературы и источников:

– является органической частью ВКР и помещается после основного текста работы;

– позволяет автору документально подтвердить достоверность и точность приводимых в тексте заимствований: таблиц, иллюстраций, формул, цитат, фактов, текстов и документов;

– характеризует степень изученности конкретной проблемы автором;

– представляет самостоятельную ценность, так как может служить справочным аппаратом для других исследователей;

– является простейшим библиографическим пособием, поэтому каждый документ, включенный в список, должен быть описан в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления; ГОСТ 7.11-78. Сокращение слов и словосочетаний на иностранных европейских языках в библиографическом описании; ГОСТ 7.12-93. Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке; ГОСТ 7.80-2000. Библиографическая запись. Заголовок. Общие требования и правила составления.

Каждая библиографическая запись в списке получает порядковый номер и начинается с красной строки.

Источники в списке располагаются в алфавитном порядке либо в порядке появления в тексте ВКР.

Примеры оформления библиографических записей

Отдельно изданные стандарты
и технические условия, руководящие документы

ГОСТ 25347-89. Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений [Текст]. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 32 с.

ГОСТ 7.1-2003. Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления [Текст]. − Взамен ГОСТ 7.1-84. – Введ. 01.01.86. – М. : Изд-во стандартов, 2004. – 64 с.

Депонированные отчеты
о научно-исследовательских работах (НИР)

Улучшение режимов смазывания опорных катков гусеничных тракторов [Текст] : отчет о НИР (промежуточ.) / ВНТИЦентр ; рук. Ленивцев Г. А. ; исполн.: Володько О. С. [и др.]. – М. : ВНИПИОАСУ, 2013. – 74 с. − № ГР 01.201062609. − Инв. № 02.201453435.

Авторефераты диссертаций

Бухвалов, А. С. Повышение ресурса подшипников опорных катков гусеничных тракторов совершенствованием смазочной системы [Текст] : автореф. дис. … канд. техн. наук : 05.20.03 / Бухвалов Артем Сергеевич. – Пенза : ФГБУ ВПО «Пензенская ГСХА», 2014. – 28 с.

Книга одного-трех авторов

Земсков, В. И. Возобновляемые источники энергии в АПК : учебное пособие / В. И. Земсков. – Санкт-Петербург : Лань, 2014. – 368 с.

Гордеев, А. С. Энергосбережение в сельском хозяйстве [Текст] : учеб. пособие / А. С. Гордеев, Д. Д. Огородников, И. В. Юдаев. – СПб. : Лань, 2014. – 384 с.

Книга, имеющая более трех авторов:
указывают первых трех и добавляют «и др.».

Есипов, В. И. Сельскохозяйственные машины. Ч. II [Текст] : учеб. пособие / В. И. Есипов, А. М. Петров, С. В. Машков [и др.]. – Самара : РИЦ СГСХА, 2013. – 275 с.

Книга авторского коллектива под редакцией

История педагогики и образования [Текст] : учеб. пособие / З. И. Васильева, Н. В. Седова, Т. С. Буторина [и др.] ; под. ред. З. И. Васильевой. – 6-е изд., перераб. – М. : Академия, 2011. – 432 с.

Сравнительные испытания сельскохозяйственной техники : науч. издание [Текст] / под общ. ред. В. М. Пронина. – М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. – 416 с.

Журналы и продолжающие издания

Крючин, Н. П. Высевающий аппарат непрерывного дозирования [Текст] / Н. П. Крючин, А. Н. Андреев // Сельский механизатор. – 2014. – № 10. – С. 8-9.

Аркусова, И. В. Классификация технологии профессионального развивающего обучения в вузе [Текст] // Педагогика. – М. : 2013. – №10. – С. 66-76.

Авторское свидетельство, патент

А. с. 2461174 Российская Федерация. Режущий аппарат сельскохозяйственной машины [Текст] / С. В. Машков. – № 2011107399 ; заявл. 25.02.2011 ; опубл. 20.09.2012, Бюл. №26. – 3 с. : ил.

Пат. 2484447. Российская Федерация. Стенд для усталостных испытаний прецизионных пар дизельной топливной аппаратуры [Текст] / Болдашев Г. И. [и др.]. – № 2011147997/28 ; заявл. 24.11.11 ; опубл. 10.06.13, Бюл. № 16. – 4 с. : ил.

Диссертация

Родионова, А.В. Установка для обеззараживания молока комбинированным воздействием электрофизических факторов в фермерских хозяйствах: дисс. … канд. техн. наук : 05.20.02. – Чувашская гос. с.-х. академия, Чебоксары, 2013. – 184 с.

Статья из сборника научных трудов

Ленивцев, Г. А. Аналитическая оценка влияния размерных параметров центрифуги на степень очистки масел [Текст] / Г. А. Ленивцев, Д. Н. Бажутов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – Самара. – 2013. – № 3. – С. 44-49.

Многотомные издания

Этимологический словарь русского языка [Текст]. В 4 т. Т. 1. А-Д. Около 4000 слов / М. Фасмер, пер. с нем. и доп. О. Н. Трубачева. – 4-е изд., стер. – М. : ООО «Издательство АСТ», 2004. – 588 с.

Справочник инженера-механика сельскохозяйственного производства [Текст]. В 2 ч. – 3-е изд., перер. и доп. / под ред. Н. Н. Нунгезера [и др.]. – М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. – 490 с.

Электронные ресурсы удаленного доступа (Internet)

Электронный каталог ГПНТБ России [Электронный ресурс] : база данных содержит сведения о всех видах лит., поступающей в фонд ГПНТБ России. – Электрон. дан. (5 файлов, 178 тыс. записей). – М., [199-]. – Режим доступа: http://www.gpntb.ru/win/search/help/el-cat.html. – Загл. с экрана.

Справочники по полупроводниковым приборам. – Новосибирск, 2003. – URL: http://www.inp.nsk.su/%7Ekozak/start.htm (дата обращения: 13.03.06).

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

В соответствии с программами государственной итоговой аттестации выпускников ФГБОУ ВО Самарский ГАУ по направлению подготовки 35.04.06 Агроинженерия, результаты защиты ВКР определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Критериями оценки ВКР работы являются:

- уровень доклада, степень освещенности в нем вопросов разрабатываемой темы, значение сделанных выводов и предложений;

- использование специальной научной литературы, нормативных актов, материалов производственной практики;

- творческий подход к разработке темы;

- правильность и обоснованность выводов;

- стиль изложения;

- оформление выпускной квалификационной работы (ВКР);

- степень профессиональной подготовленности, проявившаяся как в содержании выпускной квалификационной работы бакалавра, так и в процессе её защиты;

- чёткость и аргументированность ответов студента на вопросы, заданные ему в процессе защиты;

- положительный отзыв руководителя.

- содержание рецензии и отзыва научного руководителя.

Оценка «отлично» выставляется за ВКР, которая имеет грамотно изложенную теоретическую часть, логичное, последовательное изложение материала по представленной теме, результаты которой подвергнуты статистической обработке и оформлены в виде таблиц, рисунков. Выводы соответствуют содержанию работы с указанием конкретных рекомендаций по практическому применению. При защите обучающийся показывает глубокие знания вопросов темы, свободно оперирует данными исследования, владеет современными методами исследования, во время доклада использует наглядный материал, легко отвечает на поставленные вопросы. Выпускная квалификационная работа имеет положительный отзыв научного руководителя и рецензента.

Оценка «хорошо» выставляется за ВКР, которая имеет грамотно изложенную теоретическую часть, по содержанию в целом отвечает тем же требованиям, что и выпускная работа, определяемая оценкой «отлично». По работе имеются недостатки в оформлении и содержании (недостаточно полный эксперимент, несколько расплывчатые выводы или неконкретные рекомендации к практическому применению). При защите обучающийся показывает знания вопросов темы, оперирует данными исследования, во время доклада использует наглядный материал, без особых затруднений отвечает на поставленные вопросы. Выпускная квалификационная работа имеет положительный отзыв научного руководителя и рецензента.

Оценка «удовлетворительно» выставляется за ВКР, при оформлении которой допущен ряд недочетов, представлен слабый литературный обзор без анализа имеющихся данных. В работе просматривается непоследовательность изложения материала, приведены необоснованные рекомендации, или они отсутствуют в работе. При защите обучающийся показывает недостаточное знание изучаемой проблемы, представляет на защиту небрежно оформленный раздаточный материал, дает неуверенные, неполные ответы на поставленные вопросы. В отзывах научного руководителя и рецензента имеются замечания по содержанию работы и методике анализа, по отношению обучающегося к выполнению работы.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется за ВКР, которая не соответствует предъявляемым требованиям. В работе имеются следующие замечания: слабый обзор ограниченного количества источников литературы, практически отсутствуют экспериментальные исследования, выводы поверхностные, носящие декларативный характер; имеются стилистические неточности и орфографические ошибки; список использованной литературы и источников оформлен с нарушением требований ГОСТа. При защите обучающийся плохо докладывает результаты своих исследований, не представляет раздаточного материала, затрудняется отвечать на поставленные вопросы. В отзывах научного руководителя и рецензента имеются серьезные замечания по содержанию работы и методике анализа, по отношению обучающегося к выполнению выпускной работы.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Рябчук, С.А. Организация и планирование научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ : учебное пособие / Л.С. Ушаков, Ю.Е. Котылев, С.А. Рябчук. – Орел : Орел-ГТУ, 2006. – 108 с. – Режим доступа: http://rucont.ru/efd/145520

2. Шашкова, И. Г. Информационные технологии в науке и производстве : учебное пособие / Ф.А. Мусаев, В.С. Конкина, Е.И. Ягодкина, И.Г. Шашкова. – 555 с. : ил. – Режим доступа: https://rucont.ru/efd/243267

3. Завражнов, А. И. Современные проблемы науки и производства в агроинженерии учебное пособие / А. И. Завражнов. – СПб. : Лань, 2013. – 496 с. – Режим доступа: http://e.lanbook.com/book/5841

4. Курочкин, И. М. Производственно-техническая эксплуатация МТП : учебное пособие / И.М. Курочкин, Д.В. Доровских. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 200 с. – Режим доступа: http://window.edu.ru/resource/156/80156/files/kurochkin.pdf

5. Беззубцева, М. М. Энергоэффективные электротехнологии в агроинженерном сервисе и природопользовании : учеб. пособие / М. М. Беззубцева, В. С. Волков, А. В. Котов. – Санкт-Петербург : СПбГАУ, 2012. – 240 с. – Режим доступа: http://lib.rucont.ru/efd/258990

6. Федоренко, В. Ф. Возобновляемые источники энергии: тенденции и перспективы развития : науч. аналит. обзор / В. Ф. Федоренко, В. С. Тихонравов, Н. П. Мишуров. – пос. Правдинский, 2015. – 128 с. – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/104322.

7. Ерзамаев, М. П. Основы технической эксплуатации автомобилей : практикум / М. П. Ерзамаев, Д. С. Сазонов, В. М. Янзин, С. А. Кузнецов, М. С. Приказчиков. – Самара : РИЦ СГСХА, 2015. – 134 с. – Режим доступа: https://rucont.ru/efd/349947

8. Уханов, А. П. Конструкция и основы теории транспортных машин : учеб. пособие / Д. А. Уханов, М. В. Рыблов, А. П. Уханов. – Пенза : РИО ПГСХА, 2015. – 229 с. Режим доступа: https://rucont.ru/efd/331245

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Примерные темы выпускных квалификационных работ по профилю «Технические системы в агробизнесе»

1. Повышение эффективности основной обработки почвы за счет обоснования рациональных параметров удобрительно-пахотного агрегата.

2. Снижение энергозатрат предпосевной подготовки почвы полосовым рыхлением при возделывании пропашных культур.

3. Совершенствование высевающей системы селекционной сеялки с разработкой катушечно-штифтового высевающего аппарата.

4. Повышение качества посева рапса пневматической селекционной сеялкой с разработкой высевающего аппарата.

5. Совершенствование конструктивно-технологических параметров комбинированного плуга для ярусной обработки почвы.

6. Повышение эффективности разуплотнения почвы в следах тракторов разработкой рыхлителя-вравнивателя.

7. Совершенствование геоинформационной технологии возделывания сельскохозяйственных культур путем использования автоматизированного почвенного пробоотборника с дистанционным управлением.

8. Повышение эффективности приготовления кормов совершенствованием матрицы пресс-экструдера.

9. Повышение эффективности мелкой мульчирующей обработки почвы совершенствованием комбинированных рабочих органов.

10. Повышение эффективности смешивания кормов с обоснованием параметров смесителя.

11. Разработка смесителя-дозатора пресс-экструдера обоснованием конструктивных и режимных параметров.

12. Разработка и обоснование параметров универсального высевающего аппарата непрерывного дозирования дисково-штифтового типа.

Примерные темы выпускных квалификационных работ по профилю «Электрооборудование и электротехнологии в АПК»

1. Разработка установки для обеззараживания молока электрофизическим воздействием.
2. Разработка и обоснование информационно-измерительной системы управления для исследования влияния электротехнических процессов на растения и почву.
3. Повышение эффективности выращивания овощных культур совершенствованием конструкции электроактиватора.
4. Повышение эффективности предпосевной обработки семян яровой пшеницы совершенствованием устройства для электромагнитного стимулирования.
5. Повышение эффективности выращивания зерновых культур совершенствованием устройства для магнитной стимуляции семян.
6. Повышение эффективности выращивания зерновых культур совершенствованием устройства для магнитной стимуляции растений.
7. Повышение эффективности досвечивания культур защищенного грунта путем совершенствования характеристик и режимов работы светильников.
8. Совершенствование технологии электромагнитного стимулирования растений зеленных культур с разработкой устройства для ее осуществления.
9. Повышение эффективности предпосевной обработки семян совершенствованием конструкции универсального озонирующего устройства.
10. Совершенствование технологии получения продукции животноводства путем применения электрофизических методов.
11. Разработка и обоснование параметров транспортерного устройства с электростатическим полем для предпосевной обработки семян.
12. Совершенствование процесса электростимулирования семян зернобобовых культур совершенствованием конструкции поточного электростимулятора.
13. Повышение эффективности выращивания зерновых культур путем применения электрогидравлической обработки.

Примерные темы выпускных квалификационных работ по профилю «Эксплуатация транспортных средств»

1. Разработка минерально-растительной смазочной композиции для _____.
2. Обеспечение ресурса прецизионных пар дизельной топливной аппаратуры при использовании минерально-растительного топлива.
3. Повышение ресурса _____ применением металлоплакирующих смазочных композиций.
4. Повышение ресурса _____ совершенствованием конструкции _____.
5. Разработка технологии сбора и очистки отработанных масел.
6. Повышение ресурса коробки передач применением _____смазочной композиции и принудительной смазочной системы.
7. Повышение качества приработки пар трений агрегатов трансмиссии применением технологии ФАБО.
8. Повышение тягово-сцепных свойств _____ разработкой системы автоматического регулирования давления воздуха в шинах.
9. Адаптация системы питания дизельного двигателя к работе на минерально-растительном топливе.
10. Повышения ресурса коробок передач _____ улучшением условий работы пар трения.
11. Повышение ресурса тягово-сцепных свойств транспортного агрегата перераспределения масс с прицепа на трактор.
12. Повышение качества эксплуатации автомобилей разработкой и применением системы космического отслеживания рабочих параметров транспортных средств.
13. Повышение эффективности технической эксплуатации автомобилей путем совершенствования технического обслуживания.
14. Совершенствование процессов приработки поверхностей трения транспортных средств в сельском хозяйстве применением триботехнических методов при ремонте.

Приложение 2

Форма заявления выпускника

Заведующему кафедрой

_____

(наименование /факультета/кафедры)

от обучающегося

_____

(Фамилия Имя Отчество)

курса, группы _____

_____ формы обучения

(очной, заочной)

по направлению подготовки

_____

(наименование направления)

Заявление

Прошу разрешить мне подготовку выпускной квалификационной работы магистра в виде дипломной работы/дипломного проекта/магистерской диссертации по теме_____

выбрать необходимое

_____

_____

_____ «___ » _____ 20 __ г.

(подпись обучающегося)

Приложение 3

Форма заявки организации

Ректору ФГБОУ ВО Самарский ГАУ

Заявка

_____
(наименование организации, учреждения, предприятия)

предлагает для подготовки выпускной квалификационной работы обучающегося (дипломной работы/дипломного проекта/магистерской диссертации) _____
(нужное подчеркнуть) *(наименование факультета, института)*
_____

обучающегося по направлению подготовки _____
_____

следующее направление исследований (тема ВКР) _____
_____
_____
_____

Руководитель организации _____/_____/
подпись *расшифровка*

М.П

Ответственный
исполнитель:
_____
Ф.И.О., должность

тел/факс_____

Приложение 4

Образец акта внедрения

АКТ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ
ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Данным актом подтверждается, что результаты дипломного проекта/дипломной работы/магистерской диссертации[1]

_____
(название)

выполненной _____,
(ФИО)

выпускником по направлению подготовки 35.06.06 Агроинженерия, профиля _____ под руководством
(наименование профиля)

_____
(ФИО руководителя, ученая степень, ученое звание)

внедрены в _____

_____
(название организации, где производится внедрение)

срок внедрения _____
(год, месяц)

форма внедренных результатов _____

_____

_____

_____
(программы, приборы, системы, технологические процессы и др.)

новизна внедренных результатов _____

_____

_____

Руководитель организации _____/_____/
(подпись) *(Фамилия И.О.)*

Ответственный за внедрение _____/_____/
(руководитель отдела) *(подпись)* *(Фамилия И.О)*

МП организации

_____

[1] – нужное подчеркнуть

Приложение 5

Форма заявления выпускника с предложением темы ВКР

Заведующему кафедрой

_____

(наименование /факультета/кафедры)

от обучающегося _____

(Фамилия Имя Отчество)

курса, группы _____

_____ формы обучения

(очной, заочной)

Заявление

Прошу утвердить тему моей выпускной квалификационной работы (дипломной работы/дипломного проекта/магистерской диссертации)_____

(нужное подчеркнуть)

_____

_____

Данная тема является актуальной и выполняется в рамках задания _____

_____

(описывается обоснование темы)

тема соответствует профилю направления подготовки_____

_____

(наименование профиля и направления)

Подпись обучающегося

_____/_____

(подпись) *(расшифровка подписи)*

Подпись руководителя ВКР_____/_____

(подпись) *(расшифровка подписи)*

Зав. кафедрой _____ / _____ /

(подпись) *(расшифровка подписи)*

Приложение 6

Образец отзыва

Министерство сельского хозяйства РФ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Самарский государственный аграрный университет»

Факультет _____
Кафедра _____
Специальность (направление) _____

ОТЗЫВ
руководителя выпускной квалификационной работы
обучающегося _____, выполненной на тему
(фамилия, имя, отчество)
_____

1. Актуальность работы:_____
_____
2. Научно-техническая новизна:_____
_____
3. Оценка содержания:_____
_____
4. Положительные стороны:_____
_____
5. Рекомендации по внедрению ВКР:_____
_____
6. Оценка работы:_____
_____
7. Дополнительная информация для ГЭК:_____
_____

Заключение:
ВКР обучающегося_____
(ф.и.о. обучающегося)
соответствует требованиям к профессиональной подготовке по данному направлению подготовки и может быть допущена к защите.

Руководитель_____ «____»_____20___ г.
(подпись)

Приложение 7

Образец титульного листа

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Самарский государственный аграрный университет»
Инженерный факультет
Кафедра «_____»

ВЫПУСКНАЯ
КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

_____
вид работы[1]

обучающегося: _____
на тему: _____
_____

Руководитель работы _____

Консультанты 1. _____ / _____
Фамилия И.О. *подпись*
2. _____ / _____
Фамилия И.О. *подпись*
3. _____ / _____
Фамилия И.О. *подпись*

К защите допускается
Зав. кафедрой _____ / _____
Фамилия И.О. подпись

Кинель 20__

[1] – указывается вид работы: дипломный проект/дипломная работа/магистерская диссертация

Приложение 8

Образец бланка задания

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Самарский государственный аграрный университет»

Факультет Инженерный
Кафедра
Направление 35.04.06 Агроинженерия

Утверждаю:
Зав. кафедрой
«___» _____20__ г.

ЗАДАНИЕ

на ВКР студенту _____
(Ф.И.О.)

1. Тема ВКР: _____

Утверждена приказом по университету от «___»_____20__ г. №____

Срок сдачи студентом законченной работы _____

2. Исходные данные к работе: _____

3. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов):

4. Перечень графического материала: _____

_____

_____

_____

_____

5. Консультации по ВКР с указанием к ним разделов:

Раздел	Консультант, Ф.И.О	Подпись, дата

Дата выдачи задания _____

Руководитель _____ Принял к исполнению _____

6. Календарный план выполнения ВКР:

№ п/п	Наименование этапов ВКР	Срок выполнения этапов ВКР	Примечание

Студент _____

Руководитель _____

Приложение 9

Пример оформления реферата

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 69 страниц текстового документа. Текстовый документ содержит 55 использованных источника, 4 таблицы и 17 рисунков.

ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ, РАЗРЯД, ЭЛЕКТРОД, КОНДЕНСАТОР, ПОЧВЕННЫЙ РАСТВОР.

В настоящее время разрабатываются различные технологии, позволяющие переводить питательные вещества в доступную для растений форму, исключить дополнительное внесение удобрений. В значительной мере решить эту проблему может решить электрогидравлическая технология, позволяющая получать удобрения из раствора почвы. Ее достоинство – высокая эффективность процессов, отсутствие отрицательного воздействия на окружающую среду.

В результате проведенных исследований разработана установка для электрогидравлической обработки почвенного раствора. Проведено теоретическое определение основных параметров установки для электрогидравлической обработки растворов и экспериментально обоснованы оптимальные технологические параметры установки для электрогидравлической обработки растворов.

Экономические расчеты показали, что применение установки в теплице площадью 300 м^2 экономически целесообразно. Применение установки позволит получить годовой экономический эффект 19814 руб.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 3

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 4

ОРГАНИЗАЦИЯ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ 6

СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ 7

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ 9

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ 14

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА 17

ПРИЛОЖЕНИЯ 18

Учебное издание

Составители:

Гриднева Татьяна Сергеевна,
Володько Олег Станиславович,
Киров Юрий Александрович

Подготовка выпускной квалификационной работы

Методические указания

Отпечатано с готового оригинал-макета
Подписано в печать 27.12.2019. Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л.1,80; печ. л. 1,94
Тираж 50. Заказ № 454.

Редакционно-издательский отдел ФГБОУ ВО Самарского ГАУ
446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2
Тел.: 8 939 754 04 86, доб. 608
E-mail: ssaariz@mail.ru

Министерство сельского хозяйства
Российской Федерации
федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Самарский государственный
аграрный университет»

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ, ОБРАЗОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ

Методические указания

Кинель
РИО Самарского ГАУ
2019

УДК 627.382
И74

И74 Информационные технологии в науке, образовании и производстве : методические указания / сост. Ю. А. Киров, О. В. Карпов, В. А. Киров. – Кинель : РИО Самарского ГАУ, 2019. – 34 с.

В методических указаниях изложены материалы для изучения дисциплины «Информационные технологии в науке, образовании и производстве». Учебное издание предназначено для обучающихся по направлению подготовки 35.04.06 Агроинженерия (магистратура).

© ФГБОУ ВО Самарский ГАУ, 2019
© Киров Ю. А., Карпов О. В.,
Киров В. А., составление, 2019

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие общества, науки и техники ставит систему образования перед необходимостью использовать новые средства обучения. К таким средствам обучения относятся информационные технологии. Новые информационные технологии превращают обучение в увлекательный процесс, с элементами игры, способствуют развитию исследовательских навыков обучающихся. Технология проведения лекционных (ЛЗ) и лабораторно-практических занятий (ЛПЗ) с использованием современных технических средств и новых информационных технологий тренирует и активизирует память, наблюдательность, сообразительность, концентрирует внимание обучающихся, заставляет их по-другому оценить предлагаемую информацию. Компьютер на занятии значительно расширяет возможности представления учебной информации. Применение цвета, графики, звука, современных средств видеотехники позволяет моделировать различные ситуации и среды. Это позволяет усилить мотивацию обучающихся к учебе.

Кроме того, применение компьютера на занятиях позволяет устранить одну из важнейших причин отрицательного отношения к учебе - неуспех. Работая на компьютере, обучающийся получает возможность довести решение задачи до конца, опираясь на необходимую помощь.

Целью методических указаний при изучении дисциплины «Информационные технологии в науке, образовании и производстве» является освоение обучающимися основных методов и средств применения современных информационных технологий в научно-исследовательской, образовательной и производственной деятельности.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Развитие общества, науки и техники ставит систему образования перед необходимостью использовать новые средства обучения. К таким средствам обучения относятся информационные технологии. Новые информационные технологии превращают обучение в увлекательный процесс, с элементами игры, способствуют развитию исследовательских навыков обучающихся. Технология проведения лекционных (ЛЗ) и лабораторно-практических занятий (ЛПЗ) с использованием современных технических средств и новых информационных технологий тренирует и активизирует память, наблюдательность, сообразительность, концентрирует внимание обучающихся, заставляет их по-другому оценить предлагаемую информацию. Компьютер на занятии значительно расширяет возможности представления учебной информации. Применение цвета, графики, звука, современных средств видеотехники позволяет моделировать различные ситуации и среды. Это позволяет усилить мотивацию обучающихся к учебе.

Кроме того, применение компьютера на занятиях позволяет устранить одну из важнейших причин отрицательного отношения к учебе – неуспех. Работая на компьютере, обучающийся получает возможность довести решение задачи до конца, опираясь на необходимую помощь.

Применение компьютерных технологий позволяет сделать занятие по настоящему продуктивным, процесс учебы интересным, осуществляет дифференцированный подход к обучению, позволяет объективно и своевременно проводить контроль и подведение итогов.

Среди разнообразных направлений педагогических технологий стоит выделить: проблемное обучение; обучение в сотрудничестве; игровую деятельность; разноуровневое обучение; проектное обучение.

Проектная деятельность позволяет реализовать индивидуальный подход в обучении, а также сформировать устойчивый интерес к предмету исследования. При работе над проектом осуществляется сотрудничество преподавателя и обучающегося, что способствует решению главной задачи любой школы - формированию личности.

Целью дисциплины «Информационные технологии в науке, образовании и производстве» является освоение обучающимися основных методов и средств применения современных информационных технологий в научно-исследовательской, образовательной и производственной деятельности. В условиях информатизации науки, образования и производства, формирования глобального информационно-коммуникационного пространства к уровню квалификации научно-педагогических кадров предъявляются особые требования, соответствие которым, как правило, не обеспечивается освоением базового курса информатики и спецкурсов информационных технологий.

Таким образом, основными учебными ***задачами дисциплины*** являются:

- углубление общего информационного образования и информационной культуры будущих преподавателей и исследователей, ликвидация возможных пробелов в усвоении базового курса информатики;
- овладение современными методами и средствами автоматизированного анализа и систематизации научных данных;
- овладение современными средствами подготовки традиционных («журнальных») и электронных научных публикаций и презентаций;
- изучение психолого-педагогических основ технологического обучения;
- освоение технологий модернизации образовательных программ на основе внедрения современных информационных технологий;
- изучение современных электронных средств поддержки науки, образовательного процесса и производства, приемов их интеграции с традиционными учебно-методическими материалами;
- формирование практических навыков использования научно-образовательных ресурсов *Internet* в повседневной профессиональной деятельности исследователя и педагога.

В данной учебной дисциплине необходимо изучить следующие вопросы:

- ознакомление с основными теоретическими положениями, законами, принципами, терминами, понятиями, процессами, методами, технологиями, инструментами, операциями осуществления научной деятельности на базе информационных технологий;

- изучение основных понятий компьютерных систем и технологий;
- приобретение навыков работы на различных технических средствах компьютерных технологий;
- изучение основ построения компьютерных сетей;
- знакомство с основным программным обеспечением компьютерных технологий;
- изучение методологии создания программных продуктов;
- изучение основ компьютерного моделирования систем;
- формирование у обучающихся общих представлений о необходимости изучения основ информационных технологий в научных исследований;

Основными элементами при изучении дисциплины «Информационные технологии в науке, образовании и производстве» являются активные и интерактивные методы обучения с использованием научных дискуссий, семинаров, моделирования ситуаций, процессов, технологий, операций, организационных и компьютерных деловых игр в логической последовательности от простейших к сложным, самостоятельной экспертной деятельности по оценке эффективности научных разработок.

Благодаря применению информационных технологий в образовательном процессе, а в дальнейшем и в научных исследованиях, производстве будут относительно успешно проводить преподаватели и магистранты, обучающиеся по различным научным направлениям, формироваться заявки на гранты различных уровней, подготовка публикаций научных статей и тезисов выступлений, делаться доклады на семинарах, конференциях.

Учебный курс и программа раздела «Информационные технологии в науке, образовании и производстве» не только базируются на научных и методических трудах ведущих отечественных и зарубежных ученых и практиков, на опыте руководства обучающимися, подготовки магистерских, кандидатских и докторских диссертаций, но также развивается в соответствии с основными направлениями тематики научных исследований профессорско-преподавательского состава и обучающихся.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- ***знать***: основные направления развития информационных технологий в науке, образовании и производстве, основные классы

программного обеспечения и технического обеспечения компьютерных систем, основные понятия о работе компьютерных сетей, основные понятия об инструментарии информационных технологий, основы компьютерного моделирования систем;

• ***уметь***: применять полученные знания при самостоятельном освоении и использовании программных средств, а также при формулировании требований к разрабатываемым специализированным прикладным программным средствам;

• ***владеть навыками***: основных методов работы с прикладным программным обеспечением различного назначения.

В процессе изучения раздела «Информационные технологии в науке и образовании» будущие выпускники по направлениям подготовки 35.04.06 Агроинженерия продолжают формировать свое современное научное, экономическое, организационное, инженерно-техническое, профессиональное мышление, поэтому они должны понимать и иметь представление:

- о структуре информационной системы;
- о видах обеспечения информационной системы и информационных технологий;
- о свойствах и видах информации;
- об измерении информации и представлении информации в компьютерах;
- о функционально-структурной организации персонального компьютера (ПК);
- об основных компонентах ПК, его периферийных устройствах и основных характеристиках ПК;
- о классификации вычислительных машин и тенденциях их развития;
- о суперкомпьютерах.
- о понятии обобщенной структуры информационной сети.
- о классификации компьютерных сетей (КС).
- об основных видах оборудования и технологиях в КС.
- о сети *Internet*, системе IP-адресации, службе доменных имен, программах-браузерах.
- о системном и прикладном программном обеспечение (ПО).
- об операционной системе и сервисном ПО.

ЗАНЯТИЕ № 1.
ОБЪЕКТЫ И ДЕЙСТВИЯ НАД НИМИ В ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ (ОС) MS-DOS и WINDOWS С ПОМОЩЬЮ РАЗЛИЧНЫХ СРЕДСТВ ОС. ФАЙЛОВЫЕ МЕНЕДЖЕРЫ

Цель: ознакомиться с операционными системами и средствами для их реализации.

В прошлом информация считалась сферой бюрократической работы и ограниченным инструментом для принятия решений. Сегодня информацию рассматривают как один из основных ресурсов развития общества, а информационные системы и технологии как средство повышения производительности и эффективности работы людей.

Наиболее широко информационные системы и технологии используются в производственной, управленческой и финансовой деятельности, хотя начались подвижки в сознании людей, занятых и в других сферах, относительно необходимости их внедрения и активного применения. Это определило угол зрения, под которым будут рассмотрены основные области их применения. Главное внимание уделяется рассмотрению информационных систем и технологий с позиций использования их возможностей для повышения эффективности труда работников информационной сферы производства и поддержки принятия решений в организациях (фирмах).

Под ***системой*** понимают любой объект, который одновременно рассматривается и как единое целое, и как объединенная в интересах достижения поставленных целей совокупность разнородных элементов. Системы значительно отличаются между собой как по составу, так и по главным целям.

Приведем несколько систем, состоящих из разных элементов и направленных на реализацию разных целей (таблица 1).

Понятие «система» широко распространено и имеет множество смысловых значений. Чаще всего оно используется применительно к набору технических средств и программ. Системой может называться аппаратная часть компьютера. Системой может также считаться множество программ для решения конкретных прикладных задач, дополненных процедурами ведения документации и управления расчета.

Таблица 1

Примеры понятия «система»

Система	***Элементы системы***	***Цель системы***
Фирма	Люди, оборудование, материалы, здания	Производство товаров
Компьютер	Электронные и электромеханические элементы, линии связи…	Обработка данных
Телекоммуникационная система	Компьютеры, модемы, кабели, сетевое программное обеспечение…	Передача информации
Информационная система	Компьютеры, компьютерные сети, люди, информационное и программное обеспечение…	Производство профессиональной информации

Информационная система − взаимосвязанная совокупность средств, методов и персонала, используемых для хранения, обработки и выдачи информации в интересах достижения поставленной цели. Современное понимание информационной системы предполагает использование в качестве основного технического средства переработки информации персонального компьютера. В крупных организациях наряду с персональным компьютером в состав технической базы информационной системы может входить мэйнфрейм или суперЭВМ. Необходимо понимать разницу между компьютерами и информационными системами. Компьютеры, оснащенные специализированными программными средствами, являются технической базой и инструментом для информационных систем. Информационная система немыслима без персонала, взаимодействующего с компьютерами и телекоммуникациями.

История развития информационных систем и цели их использования на разных периодах представлены в таблице 2.

Процессы в информационной системе, обеспечивающие работу информационной системы любого назначения, условно можно представить в виде схемы, состоящей из блоков (рис. 1):

- ввод информации из внешних или внутренних источников;
- обработка входной информации и представление ее в удобном виде;
- вывод информации для представления потребителям или передачи в другую систему;
- обратная связь − это информация, переработанная людьми данной организации для коррекции входной информации.

Таблица 2

Подход к использованию информационных систем

Период	Концепция использования информации	Вид информационных систем	Цель использования
1950 - 1960 гг.	Бумажный поток расчетных документов	Информационные системы обработки документов на электромеханических бухгалтерских машинах	Упрощение процедуры обработки счетов и расчета заработной платы
1960 - 1970 гг.	Основная помощь в подготовке отчетов	Управленческие информационные системы для производственной информации	Ускорение процесса подготовки отчетности
1970 - 1980 гг.	Управленческий Контроль реализации (продаж)	Системы поддержки принятия решений. Системы для высшего звена управления	Выборка наиболее рационального решения
1980 - 2000 гг.	Информация – стратегический ресурс, обеспечивающий конкурентное преимущество	Стратегические информационные систем. Автоматизированные офисы	Выживание и процветание фирмы

Рис. 1. Процессы в информационной системе

Информационная система определяется следующими свойствами:

- любая информационная система может быть подвергнута анализу, построена и управляема на основе общих принципов построения систем;
- информационная система является динамичной и развивающейся;
- при построении информационной системы необходимо использовать системный подход;
- выходной продукцией информационной системы является информация, на основе которой принимаются решения;

- информационную систему следует воспринимать как человеко-компьютерную систему обработки информации.

Создание и использование информационной системы для любой организации нацелены на решение следующих задач:

1. Структура информационной системы, ее функциональное назначение должны соответствовать целям, стоящим перед организацией. Например, в коммерческой фирме - эффективный бизнес; в государственном предприятии - решение социальных и экономических задач.

2. Информационная система должна контролироваться людьми, ими пониматься и использоваться в соответствии с основными социальными и этическими принципами.

3. Производство достоверной, надежной, своевременной и систематизированной информации.

Следует заметить также, что информационные системы сами по себе дохода не приносят, но могут способствовать его получению. Они могут оказаться дорогими и, если их структура и стратегия использования не были тщательно продуманы, даже бесполезными. Внедрение информационных систем связано с необходимостью автоматизации функций работников, а значит, способствует их высвобождению. Могут также последовать большие организационные изменения в структуре фирмы, которые, если не учтен человеческий фактор и не выбрана правильная социальная и психологическая политика, часто проходят очень трудно и болезненно.

Структуру информационной системы составляет совокупность отдельных ее частей, называемых подсистемами.

Подсистема − это часть системы, выделенная по какому-либо признаку.

Таким образом, структура любой информационной системы может быть представлена совокупностью обеспечивающих подсистем (рис. 2).

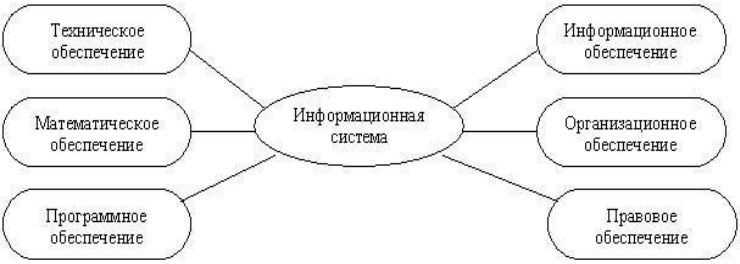


Рис. 2. Структура информационной системы

Среди обеспечивающих подсистем обычно выделяют информационное, техническое, математическое, программное, организационное и правовое обеспечение.

Контрольные вопросы

1. Приведите определение информации.
2. Приведите определение системы и информационной системы (ИС).
3. Приведите определение видов обеспечения ИС (математическое, программное, информационное, техническое).
4. В чем состоит суть информационной технологии?

ЗАНЯТИЕ № 2. ВНУТРЕННЕЕ УСТРОЙСТВО ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА (ПК). ОСНОВНЫЕ ПЕРИФЕРИЙНЫЕ УСТРОЙСТВА, СПОСОБЫ ИХ ПОДКЛЮЧЕНИЯ

Цель: ознакомление с используемыми в науке, образовании и производства техническими средствами информатизации, программных средств, их содержательного наполнения.

Изучение особенностей использования ИКТ должно включать знакомство с разными аспектами проникновения информационных технологий в сферу образования. В частности, необходимо детальное рассмотрение используемых в науке, образовании и произыодстве технических средств информатизации, программных средств, их содержательного наполнения.

Первые из них - технические средства информатизации образования не возникли в одночасье. Появлению средств информатизации, основанных на использовании компьютерной техники, предшествовало бурное развитие различных некомпьютерных устройств, которые принято называть техническими и аудиовизуальными средствами обучения.

На протяжении многих лет к техническим средствам обучения относили и саму аппаратуру, такую как различные диапроекторы и фонографы, графопроекторы и электрофоны, кинопроекторы и телевизоры, магнитофоны и CD-плееры, а также специально созданные дидактические материалы и пособия, такие как диафильмы, диапозитивные серии, пластинки, кассеты и компакт диски.

Именно эти средства обучения на разных этапах развития системы образования являлись основными инструментами повышения эффективности хранения, обработки, передачи и представления учебной информации. В отсутствие компьютерной техники они играли роль средств информационных и коммуникационных технологий. Технические средства, используемые в образовании можно классифицировать на группы в зависимости от вида информации и принципов, лежащих в основе их функционирования.

Компьютеры и связанные с ними информационные и коммуникационные технологии являются основой информатизации образования. Поэтому компьютеры и устройства, управляемые ими, обычно называемые *аппаратным обеспечением*, должны рассматриваться в процессе изучения особенностей использования средств ИКТ. В то же время особенности устройства и функционирования различных средств аппаратного обеспечения на протяжении последних десятилетий прочно вошли в предметную область информатики. Учитывая это, логично остановится лишь на особенностях компьютеров и другого аппаратного обеспечения, наиболее важных для информатизации образования.

Вместе с тем реальное широкомасштабное проникновение средств ИКТ во все виды образовательной деятельности разумно связать с появлением в начале 80-х годов прошлого века персональных ЭВМ, отличительными особенностями которых являлись возможность работы ровно с одним человеком, компактность, быстродействие, относительно низкая стоимость, наличие большого количества устройств, расширяющих возможности персональных ЭВМ. Главным направлением развития персональных ЭВМ являлось расширение возможностей по обработке информации разных типов. Постепенно подобные аппаратные средства позволили людям создавать, хранить, обрабатывать и передавать текст, графические изображения, фото- и видеофрагменты, звук. В связи с этим современные персональные ЭВМ не вполне корректно называть вычислительными машинами. За такими устройствами прочно закрепилось название *«компьютеры»*.

В связи с этим под компьютерным аппаратным обеспечением, являющимся, по определению, неотъемлемой частью средств ИКТ, используемых в образовании, целесообразно понимать персональные компьютеры и другие аппаратные устройства, работающие во взаимодействии с ними.

Для некоторых персональных компьютеров отличительной чертой является их мобильность, когда благодаря небольшим размерам и весу компьютера, человек имеет возможность использовать его вне зависимости от своего местонахождения.

Способ взаимодействия человека с компьютером и тип требуемого программного обеспечения зависят от так называемой *аппаратной платформы компьютера*.

В это понятие включается совокупность особенностей технической реализации компьютера, присущих марке и фирме-изготовителю конкретного аппаратного обеспечения. В российской системе общего среднего образования используются две таких платформы. В 1976 году был создан первый компьютер Apple Macintosh, разработанный американскими инженерами Стивом Возняком и Стивом Джобсом. Массовое создание таких компьютеров послужило основным толчком к формированию промышленности персональных компьютеров. В 1981 году фирмой IBM был представлен персональный компьютер IBM PC (PC - personal computer). Его модели PC XT, PC AT, а также модели с процессором Pentium стали, каждый в свое время, ведущими на мировом рынке персональных компьютеров. Именно компьютеры семейств IBM PC и Apple Macintosh и соответствующие им аппаратные платформы являются наиболее распространенными в системах среднего образования большинства стран мира.

К числу параметров, характеризующих компьютер, относятся:

- быстродействие компьютера (тактовая частота процессора);
- объем оперативной памяти;
- объем жесткого диска;
- наличие и скоростные параметры устройства для чтения и записи компакт-дисков;
- наличие манипуляторов «мышь», джойстик и других;
- характеристики видеосистемы компьютера (тип и объем памяти видеокарты; тип, размер и разрешение монитора);
- наличие и характеристики аудиосистемы компьютера (вид аудиокарты, тип акустических систем, наличие микрофона);
- наличие и тип сетевой карты;
- наличие модема;
- наличие оборудования, обеспечивающего беспроводную связь (Wi-Fi, Bluetooth);
- наличие, тип и марка принтера;
- наличие, тип и марка сканера.

Следует отметить, что при определении достаточности конкретных компьютеров существенную роль играют тип и версия операционной системы, а также наличие доступа к локальным и глобальным телекоммуникационным сетям, несмотря на то, что такие параметры не могут быть отнесены к характеристикам аппаратного обеспечения.

В образовании все чаще используются специализированные периферийные устройства, предназначенные для информатизации обучения отдельным дисциплинам. Такими устройствами являются электронные микроскопы, применяемые в обучении биологии, цифровые омметры, вольтметры и амперметры, используемые при изучении физики, устройства глобального позиционирования (GPS), применяемые на практических занятиях по краеведению.

В аппаратном обеспечении особым образом выделяется семейство средств, характерной особенностью которых является возможность обработки и представления информации различных типов, являющихся относительного новыми с точки зрения развития компьютерной техники. Действительно, за последние годы к числу таких средств, получивших название средств мультимедиа, были отнесены устройства для записи и воспроизведения звука, фото и видео изображений. Если в ближайшее время появятся и получат распространение устройства для цифровой обработки запахов, то эти устройства также будут отнесены к семейству средств мультимедиа. В силу того, что такие средства имеют особое значение для развития общего среднего образования, целесообразно рассмотреть их отдельно.

Таким образом, в широком смысле термин *«мультимедиа»* означает спектр информационных технологий, использующих различные программные и технические средства с целью наиболее эффективного воздействия на пользователя (ставшего одновременно и читателем, и слушателем, и зрителем).

Системы «виртуальной реальности» обеспечивают прямой «непосредственный» контакт человека со средой. В наиболее совершенных из них пользователь может дотронуться рукой до объекта, существующего лишь в памяти компьютера, надев начиненную датчиками перчатку. В других случаях можно «перевернуть» изображенный на экране предмет и рассмотреть его с обратной стороны. Пользователь может «шагнуть» в виртуальное пространство, вооружившись «информационным костюмом», «информационной

перчаткой», «информационными очками» (очки-мониторы) и другими приборами.

В современном мире все большую роль в процессе обмена информацией приобретают компьютеры и основанные на них *компьютерные средства телекоммуникаций***.** Различают локальные и глобальные телекоммуникационные сети. Как правило, локальной называют сеть, связывающую компьютеры, находящиеся в одном здании, одной организации, в пределах района, города, страны. Иными словами чаще всего локальной является сеть, ограниченная в пространстве. Локальные сети распространены в сфере образования. Большинство школ и других учебных заведений имеет компьютеры, связанные в локальную сеть. В тоже время современные технологии позволяют связывать отдельные компьютеры, находящиеся не только в разных помещениях или зданиях, но находящиеся на разных континентах. Неслучайно можно встретить учебные заведения, имеющие филиалы в разных странах, компьютеры которых объединены в локальные сети. Более того, локальные сети могут объединять и компьютеры разных учебных заведений, что позволяет говорить о существовании локальных сетей сферы образования.

Телекоммуникационные средства, используемые в образовании, - средства информатизации образования, обеспечивающие обмен информацией в телекоммуникационных сетях.

Электронная почта (E-Mail) - система для хранения и пересылки сообщений между людьми, имеющими доступ к компьютерной сети.

Телеконференция представляет собой сетевой форум, организованный для ведения дискуссии и обмена новостями по определенной тематике.

Доступ к удаленным информационным ресурсам. Используя специализированные средства - информационно-поисковые системы, можно в кратчайшие сроки найти интересующие сведения в мировых информационных источниках.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные характеристики персонального компьютера (ПК).
2. Нарисуйте структуру ПК.
3. Приведите определение микропроцессора.
4. Назовите основные классы периферийных устройств.

ЗАНЯТИЕ № 3. ПОДКЛЮЧЕНИЕ ПК К ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ *Ethernet*. ОСНОВНЫЕ СЕТЕВЫЕ КОМАНДЫ ОС. РАБОТА В СЕТИ *Internet*, ПРОГРАММЫ-БРАУЗЕРЫ, ЭЛЕКТРОННАЯ ПОЧТА

Цель: дать обучающимся знания по основам компьютерных сетей и Интернету, научиться обеспечивать защищенные сетевые соединения.

Программа интегрирует теоретическое и практическое обучение (в процессе изучения курса учащиеся разрабатывают план сети и строят ее). Курс описывает, для чего и как создаются сети, знакомит с такими понятиями, как «топология сети», «кабельная инфраструктура», рассматривает основные сетевые архитектуры, включая *Ethernet* и *Wi-Fi*. Курс учит объединять компьютеры в сеть с помощью различных устройств связи, настраивать протокол TCP/IP, управлять IP-маршрутизацией и налаживать работать операционных систем. Кроме того, учащиеся смогут узнать из курса, как работают приложения в локальных сетях, построенных на базе технологий Microsoft, и в Интернете.

1. Что такое компьютерная сеть
2. Как компьютеры взаимодейтсвуют в сети
3. Сетевые топологии и способы доступа к среде передачи данных
4. Линии связи
5. Выбор сетевой архитектуры
6. Выбор устройств связи
7. Взаимодействие между компьютерами:
8. Взаимодействие между компьютерами: настройка IP-адресации и маршрутизации
9. Работа в сети: сетевые службы, клиенты, серверы, ресурсы. Защита при работе в сети
10. Сеть Интернет. Начинаем работать в сети
11. Средства общения и обмена данными.

Контрольные вопросы

1. Приведите основные режимы передачи данных в сети.
2. Какие аппаратные средства используются при построении КС?
3. Приведите определение сервера и рабочей станции.
4. Приведите основные топологии локальных сетей.
5. Приведите примеры служб в сети Internet.
6. Что такое HTML?

ЗАНЯТИЕ № 4. СЕРВИСНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ (ПО) В ОС WINDOWS

Цель: получить представление о компьютерных программах и направлениях их применения, о программном обеспечении компьютерных информационных технологий, как можно классифицировать и использовать такое программное обеспечение и технические средства для их реализации.

Основные понятия:

- Hardware, Software и Brainware;
- Программа и системное программное обеспечение;
- Операционная система, утилиты и драйверы;
- Инструментальное и прикладное программное обеспечение;
- Интегрированные пакеты или пакеты прикладных программ;
- Классификация компьютерных технических средств информационных технологий;
- Архитектура компьютера;
- Системы SOHO и СМБ.

Для обозначения основных *компонент программно-аппаратных компьютерных средст*в используют следующие термины:

Software – совокупность программ, используемых в компьютере или программные средства, представляющие заранее заданные, чётко определённые последовательности арифметических, логических и других операций.

Hardware – технические устройства компьютера («железо») или аппаратные средства, созданные, в основном, с использованием электронных и электромеханических элементов и устройств.

Brainware – знания и умения, необходимые пользователям для грамотной работы на компьютере (компьютерная культура и грамотность).

Работой компьютеров, любых вычислительных устройств управляют различного рода программы. Без программ любая ЭВМ не больше, чем груда железа. Компьютерная программа (англ. «Program») обычно представляет собой последовательность операций, выполняемых вычислительной машиной для реализации какой-нибудь задачи. Например, это может быть программа редактирования текста или рисования.

Программа - это упорядоченная последовательность команд, предназначенная для решения разных задач с помощью компьютерной техники и технологии; точная и подробная последовательность инструкций на понятном компьютеру языке с указанием правил обработки информации.

Совокупность программ, используемых при работе на компьютере, составляет его *программное обеспечение.*

Существуют классификации программного обеспечения по назначению, функциям, решаемым задачам и другим параметрам.

По назначению и *выполняемым функциям* можно выделить три основных вида ПО, используемого в информационных технологиях:

Общесистемное ПО – это совокупность программ общего пользования, служащих для управления ресурсами компьютера (центральным процессором, памятью, вводом-выводом), обеспечивающих работу компьютера и компьютерных сетей. Оно предназначено для управления работой компьютеров, выполнения отдельных сервисных функций и программирования. Общесистемное ПО включает: базовое, языки программирования и сервисное.

Базовое ПО включает: операционные системы, операционные оболочки и сетевые операционные системы.

Операционная система (ОС) – это комплекс взаимосвязанных программ, предназначенных для автоматизации планирования и организации процесса обработки программ, ввода-вывода и управления данными, распределения ресурсов, подготовки и отладки программ, других вспомогательных.

Выделяют однопрограммные, многопрограммные (многозадачные), одно и многопользовательские, сетевые и несетевые ОС.

Сетевые ОС – это комплекс программ, обеспечивающих обработку, передачу, хранение данных в сети; доступ ко всем её ресурсам, распределяющих и перераспределяющих различные ресурсы сети.

Операционная оболочка – это программная надстройка к ОС; специальная программа, предназначенная для облегчения работы и общения пользователей с ОС (Norton Commander, FAR, Windows Commander, Проводник и др.). Они преобразуют неудобный командный пользовательский интерфейс в дружественный графический интерфейс или интерфейс типа «меню». Оболочки предоставляют пользователю удобный доступ к файлам и обширные сервисные услуги.

Языки программирования – это специальные команды, операторы и другие средства, используемые для составления и отладки программ. Они включают собственно языки и правила программирования, трансляторы, компиляторы, редакторы связей, отладчики и др.

Сервисное общесистемное ПО для ОС включает драйверы и программы-утилиты, а также тестовые и диагностические программы, программы антивирусной защиты и обслуживания сети.

Инструментальное программное обеспечение или *инструментальные программные средства* (ИПО) – это программы-полуфабрикаты или конструкторы, используемые в ходе разработки, корректировки или развития других программ. По назначению они близки к системам программирования.

Прикладное программное обеспечение (ППО) или *прикладные программные средства* используются при решении конкретных задач. Такие программы называют приложениями.

Любые компьютерные программы работают на каких-либо технических средствах информационных технологий.

Практически любые *компьютерные технические средства* (ТС) *по назначению* можно разделить на *универсальные* – для использования в различных областях применения и *специальные*, созданные для эксплуатации в специфических условиях или сферах деятельности, например, в сложных климатических условиях.

Персональные компьютеры (ПК) – это информационно-вычислительные устройства, ресурсы которых, как правило, направлены на обеспечение деятельности одного работника (пользователя). Это самый многочисленный класс средств вычислительной техники. Наиболее известны компьютеры типа IBM PC и Macintosh фирмы Apple.

Корпоративные компьютеры (иногда называемые мини-ЭВМ или main frame) – это вычислительные системы (ВС), обеспечивающие совместную деятельность многих работников в рамках одной организации, одного проекта, одной сферы информационной деятельности при использовании одних и тех же информационно-вычислительных ресурсов. Это многопользовательские ВС, имеющие центральный блок с большой вычислительной мощностью и значительными информационными ресурсами. К нему подсоединяется большое число рабочих компьютеров с минимальной оснащенностью (видеотерминал, клавиатура, устройство позиционирования типа «мышь» и, возможно, устройство печати).

В качестве таких рабочих мест корпоративного компьютера обычно используют ПК.

Суперкомпьютеры – это ВС с предельными характеристиками вычислительной мощности и информационных ресурсов, например, с производительностью свыше 100 мегафлопов (1 мегафлоп – миллион операций с плавающей точкой в секунду). Основная их технология – это реализация принципа параллельной или конвейерной обработки данных, т.е. одновременного выполнения нескольких действий. К ним относят и высокопроизводительные мини ЭВМ, объединяемые общей шиной с общей памятью. Представляет многопроцессорный и (или) многомашинный комплекс, работающий на общую память и общее поле внешних устройств. Архитектура основана на идеях параллелизма и конвейеризации вычислений.

В *квантовом компьютере* основной «строительной» единицей является кубит (англ. аббревиатура «qubit» означает «Quantum Bit») и используются элементарные логические операции (дизъюнкция, конъюнкция и квантовое отрицание), с помощью которых организуется логика их работы.

Контрольные вопросы

1. В чем разница между системным и прикладным программным обеспечением?
2. Приведите определение операционной системы (ОС), файла, каталога, драйвера.
3. В чем состоит концепция ОС Windows?
4. Для чего предназначены программы-архиваторы?

ЗАНЯТИЕ № 5. ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВ РАБОТЫ В РАЗЛИЧНЫХ КЛАССАХ ПРИКЛАДНОГО ПО (ТЕКСТОВЫЕ ПРОЦЕССОРЫ, ГРАФИЧЕСКИЕ РЕДАКТОРЫ, СРЕДСТВА ПОСТРОЕНИЯ СХЕМ, ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, БАЗЫ ДАННЫХ)

Цель: получить представление о графических редакторах и настольных издательских системах, средствах построения схем, геоинформационных системах, базах данных (БД) и представлении информации в реляционных БД.

Алгоритм − точное предписание исполнителю совершить определенную последовательность действий для достижения поставленной цели за конечное число шагов.

Поэтому обычно формулируют несколько **общих свойств алгоритмов**, позволяющих отличать алгоритмы от других инструкций.

Такими свойствами являются:

• *Дискретность* (прерывность, раздельность) – алгоритм должен представлять процесс решения задачи как последовательное выполнение простых (или ранее определенных) шагов. Каждое действие, предусмотренное алгоритмом, исполняется только после того, как закончилось исполнение предыдущего.

• *Определенность* – каждое правило алгоритма должно быть четким, однозначным и не оставлять места для произвола. Благодаря этому свойству выполнение алгоритма носит механический характер и не требует никаких дополнительных указаний или сведений о решаемой задаче.

• *Результативность (конечность)* – алгоритм должен приводить к решению задачи за конечное число шагов.

• *Массовость* – алгоритм решения задачи разрабатывается в общем виде, то есть, он должен быть применим для некоторого класса задач, различающихся только исходными данными. При этом исходные данные могут выбираться из некоторой области, которая называется областью применимости алгоритма.

Виды алгоритмов как логико-математических средств отражают указанные компоненты человеческой деятельности и тенденции, а сами алгоритмы в зависимости от цели, начальных условий задачи, путей ее решения, определения действий исполнителя подразделяются следующим образом:

• *Механические алгоритмы*, или иначе детерминированные, жесткие (например, алгоритм работы машины, двигателя и т.п.);

• *Гибкие алгоритмы*, например стохастические, т.е. вероятностные и эвристические. Механический алгоритм задает определенные действия, обозначая их в единственной и достоверной последовательности, обеспечивая тем самым однозначный требуемый или искомый результат, если выполняются те условия процесса, задачи, для которых разработан алгоритм.

• *Вероятностный* (стохастический) алгоритм дает программу решения задачи несколькими путями или способами, приводящими к вероятному достижению результата.

• *Эвристический* алгоритм (от греческого слова «эврика») – это такой алгоритм, в котором достижение конечного результата программы действий однозначно не предопределено, так же как не обозначена вся последовательность действий, не выявлены все действия исполнителя. К эвристическим алгоритмам относят, например, инструкции и предписания. В этих алгоритмах используются универсальные логические процедуры и способы принятия решений, основанные на аналогиях, ассоциациях и прошлом опыте решения схожих задач.

Линейный алгоритм – набор команд (указаний), выполняемых последовательно во времени друг за другом.

• *Разветвляющийся* алгоритм – алгоритм, содержащий хотя бы одно условие, в результате проверки которого ЭВМ обеспечивает переход на один из двух возможных шагов.

• *Циклический алгоритм* – алгоритм, предусматривающий многократное повторение одного и того же действия (одних и тех же операций) над новыми исходными данными. К циклическим алгоритмам сводится большинство методов вычислений, перебора вариантов.

Цикл программы – последовательность команд (серия, тело цикла), которая может выполняться многократно (для новых исходных данных) до удовлетворения некоторого условия.

Вспомогательный (подчиненный) алгоритм (процедура) – алгоритм, ранее разработанный и целиком используемый при алгоритмизации конкретной задачи. В некоторых случаях при наличии одинаковых последовательностей указаний (команд) для различных данных с целью сокращения записи также выделяют вспомогательный алгоритм.

На всех этапах подготовки к алгоритмизации задачи широко используется структурное представление алгоритма.

Структурная (блок-, граф-) схема алгоритма – графическое изображение алгоритма в виде схемы связанных между собой с помощью стрелок (линий перехода) блоков – графических символов, каждый из которых соответствует одному шагу алгоритма. Внутри блока дается описание соответствующего действия.

Требования, предъявляемые к алгоритму

Первое правило – при построении алгоритма, прежде всего, необходимо задать множество объектов, с которыми будет работать алгоритм. Формализованное (закодированное) представление

этих объектов носит название данных. Алгоритм приступает к работе с некоторым набором данных, которые называются входными, и в результате своей работы выдает данные, которые называются выходными. Таким образом, алгоритм преобразует входные данные в выходные. Это правило позволяет сразу отделить алгоритмы от «методов» и «способов». Пока мы не имеем формализованных входных данных, мы не можем построить алгоритм.

Второе правило – для работы алгоритма требуется память. В памяти размещаются входные данные, с которыми алгоритм начинает работать, промежуточные данные и выходные данные, которые являются результатом работы алгоритма. Память является дискретной, т.е. состоящей из отдельных ячеек. Поименованная ячейка памяти носит название переменной. В теории алгоритмов размеры памяти не ограничиваются, т. е. считается, что мы можем предоставить алгоритму любой необходимый для работы объем памяти. В школьной «теории алгоритмов» эти два правила не рассматриваются. В то же время практическая работа с алгоритмами (программирование) начинается именно с реализации этих правил.

В языках программирования распределение памяти осуществляется декларативными операторами (операторами описания переменных). В языке Бейсик не все переменные описываются, обычно описываются только массивы. Но все равно при запуске программы транслятор языка анализирует все идентификаторы в тексте программы и отводит память под соответствующие переменные.

Третье правило – дискретность. Алгоритм строится из отдельных шагов (действий, операций, команд). Множество шагов, из которых составлен алгоритм, конечно.

Четвертое правило – детерменированность. После каждого шага необходимо указывать, какой шаг выполняется следующим, либо давать команду остановки. Пятое правило – сходимость (результативность). Алгоритм должен завершать работу после конечного числа шагов. При этом необходимо указать, что считать результатом работы алгоритма.

Виды проектирования и программирования:

- *Нисходящее проектирование*
- *Модульное программирование*
- *Структурное кодирование*
- *Чтение структурированных программ*

Структурированная программа любого размера может быть достаточно легко прочитана и понята путем установления иерархии ее элементарных программ и их абстракций. Элементарные программы читают с целью установления их программных функций. Программные функции используются для документирования программных проектов: их приписывают к элементам языка PDL как *логический комментарий.* Методы структурирования программ с сочетаниями с правилами чтения элементарных программ и логическими комментариями позволяют разобраться в больших и запутанных программах и документировать. Язык программирования PDL − это не полностью формализованный, доступный для понимания специализированный язык, включающий особенности естественного языка и правил написания математических формул. Он позволяет описывать проекты программного обеспечения с точки зрения их логики, без учета специфики конкретной вычислительной системы и расположения программ в физической памяти. Структуры языка PDL облегчают разработку системы и программы. Этот язык способствует установлению лучшего понимания между людьми в процессе разработки больших программ и допускает почти прямую трансляцию на традиционные языки программирования, а также позволяет разработать руководства для пользователей и операторов и другие документы, доступные для изучения.

Метод объектно-ориентированного проектирования основывается на:

1) модели построения системы как совокупности объектов абстрактного типа данных;

2) модульной структуре программ;

3) нисходящем проектировании, используемом при выделении объектов.

Понятия:

Объект − совокупность свойств (параметров) определенных сущностей и методов их обработки (программных средств). Объект содержит инструкции, определяющие действия, которые может выполнять объект, и обрабатываемые данные.

Свойство − характеристика объекта. Все объекты наделены определенными свойствами, которые в совокупности выделяют объект из множества других объектов. Объект обладает качественной определенностью. Например, объект можно представить

перечислением присущих ему свойств. Свойства объектов различных классов могут «пересекаться», т.е. возможны объекты, обладающие одинаковыми свойствами. Одним из свойств объекта являются метод его обработки.

Метод − программа действий над объектом или его свойствами. Метод рассматривается как программный код, связанный с определенным объектом. Объект может обладать набором заранее определенных встроенных методов обработки, либо созданных пользователем или взятых в стандартных библиотеках, которые выполняются при наступлении заранее определенных событий. По мере развития систем обработки данных создаются стандартные библиотеки методов.

Событие − изменение состояния объекта. Внешние события генерируются пользователем (выбор пункта меню, запуск макроса и т.д.) Внутренние события генерируются системой.

Класс − совокупность объектов, характеризующихся общностью применяемых методов обработки или свойств.

Контрольные вопросы

1. Приведите определение текстового процессора.
2. Приведите определение табличного процессора.
3. Приведите определение графического редактора.
4. Приведите определение базы данных (БД) и системы управления БД.
5. Назовите структурные элементы БД.
6. Какие типы связей могут быть между таблицами реляционной БД?

ЗАНЯТИЕ № 6. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И ПРОГРАММИРОВАНИЕ УЧЕБНОЙ ЗАДАЧИ

Цель: получить информацию о понятии алгоритма и его свойствах, о видах проектирования и программирования (нисходящее, модульное, структурное, объектно-ориентированное), о стадиях разработки программного обеспечения.

Изучение основ математического и компьютерного моделирования, предусмотрено Государственными образовательными стандартами по физическим, инженерным и компьютерным специальностям. Дисциплины в этих специальностях называются поразному: «Математическое моделирование», «Компьютерное

моделирование», «Вычислительная физика» «Моделирование систем», «Компьютерные технологии моделирования» и т.д. Для изучения этих дисциплин нами были подготовлены различные пособия. Одно из направлений развития вычислительных технологий в настоящее время - это появление мощных математических пакетов, позволяющих максимально упростить процесс подготовки задачи, ее решения и анализа результатов. Существование большого количества информационных систем проектирования и моделирования (ИСПРиМ) позволяют их подразделить на системы компьютерной математики, технического и имитационного моделирования (рис. 3).

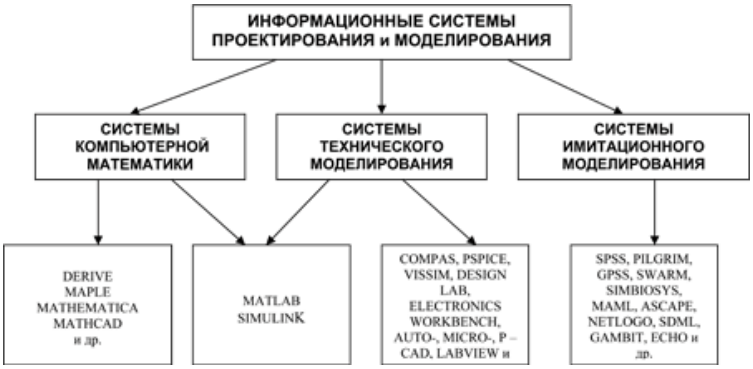


Рис.3. Информационные системы проектирования и моделирования

Эти пакеты разработаны различными фирмами и имеют свои особенности. Каждый из этих пакетов имеет свой интерфейс. В этих пакетах алгоритмизированы, систематизированы и заложены в виде процедур практически все известные методы аналитического и численного решения математических задач. Все эти системы развиваются, в них вносятся дополнения, и разработчики этих систем предлагают новые модернизированные версии.

Системы компьютерной математики. К этим системам можно отнести пакеты Derive, Mathematica, MathCad, Maple, MatLAB и др.

Системы технического моделирования. Наряду с развитием цифровых вычислительных машин формировалось направление аналоговых вычислительных машин (АВМ), с помощью которых

решались различные физические и математические задачи. АВМ позволяли решать различные виды математических моделей, представленных в виде дифференциальных уравнений с помощью натурного схемотехнического моделирования. Аналоговые ЭВМ в настоящее время не разрабатываются. Однако появились технические информационные СПРиМ (компьютерные виртуальные конструкторы), в частности Electronics Workbench, Simulink, Vissim, LabVIEW и др., решающие математические задачи с помощью схемотехнического моделирования.

Системы технического моделирования построены по принципу конструктора из блоков. В системах технического моделирования можно решать как математические, так и инженерные задачи. В этих компьютерных системах можно собирать и конструировать виртуально любые электротехнические схемы с использованием компьютерных аналогов электротехнических и измерительных деталей, а также визуальное моделирование и конструирование инженерных, технических имитаторов электронных приборов и логических устройств. Более того, спроектированные и созданные виртуальные инженерные и производственные компьютерные объекты и установки можно использовать для натурного эксперимент и производственных испытаний в реальном масштабе времени.

Системы имитационного моделирования. В настоящее время активно разрабатываются системы имитационного моделирования: SimBioSys: C++ оболочки агентно-базового эволюционного моделирования в биологических и общественных науках; системы моделирования SWARM и его расширения MAML (Multi-Agent Modelling Language) для моделирования искусственного мира; пакеты Ascape (Agent Landscape) и RePast (Recursive Porous Agent Simulation Toolkit), написанные на платформе языка Java, для поддержки агентно-базового моделирования; информационные системы NetLogo и MIMOSE (Micro- and Multilevel Modelling Software), предназначенные для создания имитационных моделей и технологий моделирования в общественных науках; SPSS, PilGrim, GPSS, Z-Tree для исследования экономических статистических явлений и процессов и др.

Знание и применение систем компьютерной математики, технического и имитационного моделирования позволяют модельщикам оперативно выбрать систему моделирования, построить адекватные модели, найти способы их решения, перейти полномасштабному

исследованию реального явления или процесса на модели, оценить решения моделей и представить поведение и закономерности изучаемого явления.

При компьютерном моделировании с помощью систем математического моделирования важен также субъективный фактор. Глубокое знание и освоение технологий математического моделирования в системах MathCAD, Maple, MatLAB и в других пакетах существенно влияет на оперативность решения математической модели реального объекта.

Изучить в полной мере все системы компьютерного моделирования и технологии достаточно сложно в связи с ограниченностью по времени, однако знать об этих информационных системах, и уметь использовать в своей профессиональной деятельности некоторые из них является необходимым условием компетентности специалиста в соответствующей области знаний.

Тема состоит из десяти модулей. Первый модуль посвящен технологиям моделирования в офисной программе Excel. Использовать систему Excel офисного приложения Windows имеет смысл, если у исследователя на компьютере не какой-нибудь из систем компьютерной математики.

Во втором модуле рассматривается система компьютерной алгебры Derive. Эта система играет важную роль при освоении основ компьютерного моделирования и систем компьютерной алгебры начального уровня. Она ориентирована на решение математических задач для школы и начальных курсов вузов.

В каждом модуле рассматривается одна из систем компьютерной математики (Maple, MathCAD, Mathematica, MatLAB). Здесь мы приводим технологии компьютерного моделирования. Основное внимание уделяется решениям систем дифференциальных уравнений, как аналитическими, так и численными методами.

Следующие модули посвящены системам технического моделирования Vissim, Simulink, Electronics Workbench, LabVIEW.

В каждом модуле мы рассматриваем общие сведения об информационной системе и технологии компьютерного моделирования на задачах физики, информатики и математики. Для оперативного усвоения технологий компьютерного моделирования созданы интерактивные электронные пособия. Контент пособий предусматривает теорию, лабораторный практикум, тестирование, глоссарий.

Контрольные вопросы

1. Приведите определение экспертной системы.
2. Что является ядром экспертной системы?
3. Приведите свойства алгоритма.
4. Приведите определение подпрограммы.
5. В чем разница между процедурой и функцией в программе?

ЗАНЯТИЕ №7. РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРА СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО ПРОЦЕССА В СРЕДЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Цель: изучить основы компьютерного моделирования систем.

Проведение практического занятия на тему, связанную с компьютерным моделированием, заключается в сборе информации к теме реферата, изучении возможностей персональных компьютеров и применяемого прикладного программного обеспечения.

Тематика рефератов

1. Математическое моделирование и его автоматизация в сельском хозяйстве.
2. Математические и численные методы, применяемые в сельскохозяйственных исследованиях.
3. Компьютерная обработка и анализ экспериментальных данных в сельскохозяйственных исследованиях.
4. Имитационное моделирование объекта сельского хозяйства.
5. Основные этапы, последовательность и автоматизация выполнения научно-исследовательских работ в сельском хозяйстве.
6. Базы данных информации в сельскохозяйственном машиностроении.
7. Автоматизированные информационно-поисковые системы в сельскохозяйственном машиностроении
8. Сферы применения вычислительной техники в сельскохозяйственной науке.
9. Математическое, информационное, программное и техническое обеспечение сельскохозяйственной науки (на примере).
10. Перспективы и возможные сферы применения суперкомпьютеров в сельскохозяйственной науке.

11. Перспективы и области применения геоинформационных систем в сельском хозяйстве.

12. Специализированные программно-аппаратные комплексы сбора и обработки информации.

13. Перспективы и области применения экспертных систем в сельскохозяйственной науке

14. Специализированные программные комплексы для расчетов и проектирования в сельском хозяйстве.

15. Применение методов исследования операций в задачах исследований.

16. Применение электронных таблиц для обработки экспериментальных данных и математического моделирования в сельскохозяйственной науке и промышленности.

Контрольное вопросы

1. Приведите примеры детерминированных и стохастических моделей.
2. Как можно проверить качество генератора случайных чисел?
3. Приведите принципы имитационного моделирования.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Информационные технологии. Базовый курс : учебник / А.В. Костюк [и др.]. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 604 с. – Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/114686

2. Кудинов, Ю.И. Основы современной информатики : учебное пособие / Ю.И. Кудинов, Ф.Ф. Пащенко. – СПб. : Лань, 2018. – 256 с. − Режим доступа: http://e.lanbook.com/books.

3. Коломейченко, А.С. Информационные технологии : учебное пособие / А.С. Коломейченко, Н.В. Польшакова, О.В. Чеха. − Санкт−Петербург : Лань, 2018. − 228 с. − Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/101862. − Загл. с экрана.

4. Паклина, В.М. Подготовка документов средствами Microsoft Office 2013 : учебное пособие / В.М. Паклина, Е.М. Паклина. − Екатеринбург : УрФУ, 2014. − 111 с. − Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/98267.

5. Советов, Б. Я. Моделирование систем : учебник / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. − Москва : Издательство Юрайт, 2017. − 343 с. Режим доступа: https://www.biblio−online.ru/bcode/396503 .

6. Информационные технологии в науке и образовании : методические указания / Н. П. Крючин, В. А. Киров – Кинель, 2015. – 37 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ 4

ЗАНЯТИЕ № 1. ОБЪЕКТЫ И ДЕЙСТВИЯ НАД НИМИ В ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ (ОС) MS-DOS И WINDOWS С ПОМОЩЬЮ РАЗЛИЧНЫХ СРЕДСТВ ОС. ФАЙЛОВЫЕ МЕНЕДЖЕРЫ 5

ЗАНЯТИЕ № 2. ВНУТРЕННЕЕ УСТРОЙСТВО ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА (ПК). ОСНОВНЫЕ ПЕРИФЕРИЙНЫЕ УСТРОЙСТВА, СПОСОБЫ ИХ ПОДКЛЮЧЕНИЯ 12

ЗАНЯТИЕ № 3. ПОДКЛЮЧЕНИЕ ПК К ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ *ETHERNET*. ОСНОВНЫЕ СЕТЕВЫЕ КОМАНДЫ ОС. РАБОТА В СЕТИ *INTERNET*, ПРОГРАММЫ-БРАУЗЕРЫ, ЭЛЕКТРОННАЯ ПОЧТА 17

ЗАНЯТИЕ № 4. СЕРВИСНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ (ПО) В ОС WINDOWS 18

ЗАНЯТИЕ № 5.ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВ РАБОТЫ В РАЗЛИЧНЫХ КЛАССАХ ПРИКЛАДНОГО ПО (ТЕКСТОВЫЕ ПРОЦЕССОРЫ, ГРАФИЧЕСКИЕ РЕДАКТОРЫ, СРЕДСТВА ПОСТРОЕНИЯ СХЕМ, ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, БАЗЫ ДАННЫХ) 21

ЗАНЯТИЕ № 6. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И ПРОГРАММИРОВАНИЕ УЧЕБНОЙ ЗАДАЧИ 26

ЗАНЯТИЕ №7.РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРА СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО ПРОЦЕССА В СРЕДЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАИЯ 30

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА 32

Учебное издание

Составители:

Киров Юрий Александрович
Карпов Олег Владимирович
Киров Владимир Александрович

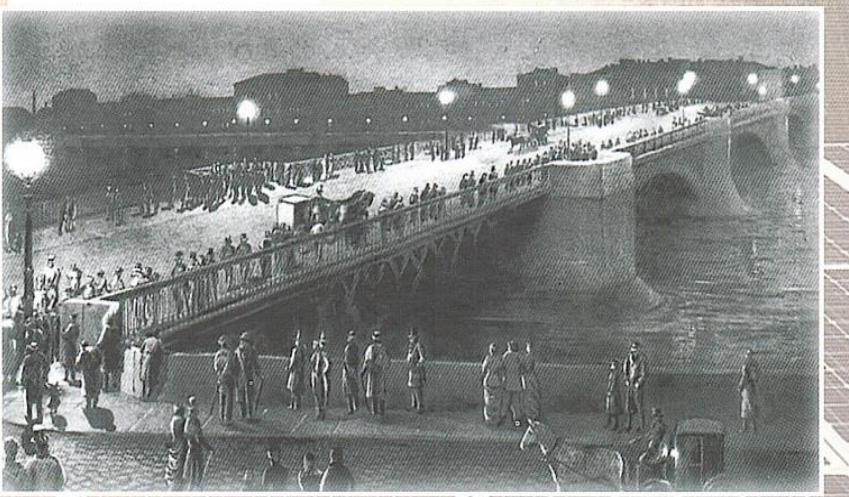
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ, ОБРАЗОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ

Методические указания

Отпечатано с готового оригинал-макета
Подписано в печать 31.12.2019. Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л. 1,98; печ. л. 2,13.
Тираж 50. Заказ № 460.
Редакционно-издательский отдел ФГБОУ ВО Самарского ГАУ
446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2
Тел.: 8 939 754 04 86, доб. 608
E-mail: ssaariz@mail.ru

И. В. Юдаев, С. В. Машков,
Т. С. Гриднева, С. И. Васильев

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ, ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЙ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ



Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Самарский государственный аграрный университет»

**И. В. Юдаев, С. В. Машков,
Т. С. Гриднева, С. И. Васильев**

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ, ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЙ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Учебник содержит сведения, необходимые для формирования профессиональных компетенций при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Агроинженерия», и рекомендуется Федеральным УМО по сельскому, лесному и рыбному хозяйству для использования в учебном процессе

Кинель 2021

УДК 621.31
ББК 31.2
Ю16

Рецензенты:
д-р ист. наук, проф., директор Высшей школы международных отношений Санкт-Петербургского Политехнического университета Петра Великого
С. Н. Погодин;
д-р техн. и пед. наук, проф., зав. кафедрой электротехники, теплотехники и возобновляемых источников энергии
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»
О. В. Григораш

Юдаев, И. В.
Ю16 История развития электроэнергетики, электротехнологий и электрооборудования : учебник / И. В. Юдаев, С. В. Машков, Т. С. Гриднева, С. И. Васильев. – Кинель : ИБЦ Самарского ГАУ, 2021. – 462 с.
ISBN 978-5-88575-631-0

В учебнике рассматриваются вопросы исторического развития энергетики через призму открытий, формулировку фундаментальных законов и понятий, технических решений.

Предназначен для обучающихся по направлению подготовки «Агроинженерия», а также для аспирантов инженерных специальностей и специалистов, работающих на энергетических предприятиях, в сельском хозяйстве и промышленности, преподавателей и научных работников.

УДК 621.31
ББК 31.2

ISBN 978-5-88575-631-0

© Юдаев И. В., Машков С. В.,
Гриднева Т. С., Васильев С. И., 2021
© ФГБОУ ВО Самарский ГАУ, 2021

ПРЕДИСЛОВИЕ

Электроэнергетика – отрасль энергетики, включающая в себя производство, передачу и сбыт электроэнергии. Чтобы грамотно распоряжаться будущим человечества, реализуя нужные цели в областях электроэнергетики, надо знать историю ее развития, извлекая пользу из ее уроков.

Цель издания – формирование у обучающихся широкого кругозора в области энергетики.

В учебнике приведен систематический обзор основных этапов развития электроэнергетики: исторические моменты в развитии общей энергетики; история первых электрических открытий; аспекты практического применения электричества, развития электротехнологий и электрооборудования; исторические этапы развития электроэнергетики и систем электроснабжения.

После каждого раздела приведены контрольные вопросы для лучшего усвоения изученного материала. Приведены приложения, содержащие именной указатель ученых, внесших вклад в развитие электротехники и электроэнергетики; сведения об открытиях и изобретениях в области общей энергетики, электричества и электроэнергетики в хронологическом порядке; ключевые слова и понятия; сведения из истории самарской энергетики; тестовые задания для проверки знаний. Изучение учебника облегчит ориентацию обучающихся в сложных проблемах электроэнергетики, опираясь на открытия, опыт, знания великих ученых и изобретателей.

В процессе изучения данного учебника у обучающихся должны формироваться следующие профессиональные компетенции:

– способность выполнять работы по повышению эффективности энергетического и электротехнического оборудования, машин и установок в сельскохозяйственном производстве (уровень бакалавриата);

– способность разрабатывать перспективные планы и технологии в области механизации и автоматизации процессов в сельскохозяйственной организации) (уровень магистратуры).

ВВЕДЕНИЕ

Чтобы знать предмет,

надо знать историю предмета.
А. А. Гегель

История цивилизации – это, прежде всего, история поиска и изобретения новых способов получения и преобразования энергии, освоения ее новых источников.

В качестве обобщенного подхода к оценке исторических вех развития энергетики воспользуемся понятием *«энергетических порогов»*, которое сформулировал академик Глеб Максимилианович Кржижановский: *«энергетические пороги»* – это периоды, когда в результате качественного совершенствования энергетической базы происходит скачок в росте производительности труда, особенно в трудоемких процессах – физических и умственных.

К такого рода порогам отнесены: водяное колесо и ветряная мельница, паровая машина, промышленное применение электроэнергии, электро- и радиоэлектроника, компьютерная техника и др.

Энергетические пороги столь существенно влияют на развитие производительных сил, что определяют и характерные этапы материальной культуры человека в целом.

История человечества знает несколько энергетических порогов.

1) *Первый порог* – создание водяного колеса, которое эффективно заменило мускульную силу человека и животных – относится к 3-му тысячелетию до нашей эры.

Затем применялись и другие источники энергии: ветер – парусные лодки, ветряные мельницы; плавка металлов с помощью энергии органического топлива и др.

2) *Второй порог* – первая половина XVIII в. – переход от ручного мануфактурного производства к машинному. Энергетической базой этого стала универсальная паровая машина и развитие механики и теплотехники. Паровая машина была принципиально новым энергетическим двигателем, превращающим химическую энергию органического топлива в тепловую энергию (создание водяного пара), а после этого в механическую – это потребовало развития научной мысли в области механики и термодинамики.

3) *Третий энергетический порог* возник и был реализован на рубеже XIX-XX вв., когда потребовалась большая концентрация производства, которую уже не могла обеспечить маломощная паровая машина.

Развитие электроэнергетики послужило созданию новых первичных двигателей – паровых и гидравлических турбин. Их сочетание с электрическими генераторами, трансформаторами и линиями

электропередач, приемниками электроэнергии – электродвигателями, осветительными устройствами, электропечами и т.п. создавало принципиально новую энергетическую базу и обеспечивало относительную независимость размещения источников производства электроэнергии от центров ее потребления.

4) *Четвертым энергетическим этапом (порогом)* по времени, почти совпадающим с третьим, было создание принципиально нового двигателя – двигателя внутреннего сгорания. Это позволило создать транспортные машины – автомобили, локомобили и др. Они работают благодаря прямому превращению химической энергии топлива в механическую энергию.

5) Во второй половине XX в. человечество перешло *к новому энергетическому порогу*. Для него характерно сочетание ряда направлений развития энергетики: использование качественно нового энергетического ресурса – ядерного горючего. Этот энергетический порог сочетается с массовым развитием электроники, изменяющей многие отрасли, требующие приложения умственного труда, созданием компьютеров, роботов, автоматизацией производств и т.п.

Первый качественный скачок в росте потребления энергии произошел в тот исторический момент, когда человек научился добывать огонь и использовать его для приготовления пищи и обогрева жилища. Источниками энергии в этот период являлись дрова и мускульная сила человека. Следующий исторический этап, связанный с качественным изменением энергопотребления, приходится на период изобретения колеса, интенсивного создания разнообразных орудий труда, развития кузнечного производства. К XV в. средневековый человек, используя рабочий скот, энергию воды и ветра, дрова и небольшое количество угля, потреблял энергии приблизительно в 10 раз больше, чем первобытный человек.

Заметное не вооруженным глазом увеличение потребления энергии в мире произошло в последние 200 лет, от начала индустриальной эпохи оно увеличилось в 30 раз и достигло к началу XXI в. показателя в 14,3 Гт у.т/год. Человек индустриального общества потребляет в 100 раз больше энергии, чем первобытный человек (табл. 1), и живет в 4 раза дольше.

Таблица 1

Суточное потребление человеком энергии в различные эпохи исторического развития

Эпоха	Даты	Население, млн чел.	Энергия на человека, МДж/сут
Палеолит	50000-280000 лет до н.э.	2	12

Бронзовый век	3500 лет до н.э.	6	27
Античное время	200 лет до н.э. – 200 г	200	50
Средние века	1200 г.	360	110
Промышленная революция	1650 г.	470	200
Новое время	1860 г.	1000	320
Современность	1970 г.	3692	960
Наши дни	2011 г.	7000	1300

В современном мире энергетика, и прежде всего электроэнергетика, является основой развития всех базовых отраслей экономики, и в первую очередь, промышленности, определяя прогресс общественного производства. Во всех индустриально-промышленно развитых странах темпы развития энергетики опережали и опережают темпы развития других отраслей.

Специфической особенностью электроэнергетики является то, что ее продукция практически не накапливается для последующего дозированного использования, поэтому ее фактическое потребление соответствует текущему производству (генерированию) электроэнергии и по размерам, разумеется, с учетом потерь, и во времени.

Сегодня уже невозможно представить себе жизнь и существование без электрической энергии – она вторглась во все сферы деятельности человека: промышленность и сельское хозяйство, науку и космос, наш быт и социум. Столь широкое проникновение объясняется ее специфическими свойствами: возможностью превращаться практически во все другие виды энергии (тепловую, механическую, световую, звуковую и т.п.); способностью относительно просто передаваться на значительные расстояния в больших количествах и легко дробиться; протекать на огромных скоростях и т.п.

Электроэнергетика – важная часть жизнедеятельности человека. Уровень ее развития отражает уровень развития производительных сил общества и реальную возможность интенсифицировать научно-технический прогресс. В промышленности и сельском хозяйстве электрическая энергия применяется как для приведения в действие различных механизмов, так и для непосредственного участия в технологических процессах.

Работа всех современных средств связи (телеграфа, телефона, радио, телевидения, интернета) напрямую связана с применением электроэнергии. Без нее невозможно было бы развитие кибернетики, вычислительной техники, космических аппаратов. Огромную роль электроэнергия играет и в транспортной сфере – транспорт на электрической тяге не загрязняет окружающую среду, а использо-

вание электрифицированного железнодорожного транспорта позволяет повысить пропускную способность дорог за счет увеличения скорости движения поездов, снизить себестоимость перевозок, повысить экономию топлива. Электроэнергия в быту является составной частью комфортабельной жизни людей, увеличения продолжительности жизни.

В то же время энергетика – один из источников неблагоприятного воздействия на окружающую среду. Она влияет на атмосферу (потребление кислорода, выбросы газов, влаги и твердых частиц), гидросферу (потребление воды, создание искусственных водохранилищ, сбросы загрязненных и нагретых вод, жидких отходов), биосферу (выбросы токсичных веществ) и на литосферу (потребление ископаемых топлив, изменение ландшафта).

Несмотря на отмеченные факторы отрицательного воздействия энергетики на окружающую среду, рост потребления энергии не вызывал особой тревоги у широкой общественности, так как было не совсем ясно, каким образом с технической точки зрения можно уменьшить или вообще исключить это негативное воздействие. Так продолжалось до середины 70-х годов прошлого века, когда в руках специалистов оказались многочисленные данные, свидетельствующие о сильном антропогенном давлении на климатическую систему, что таит угрозу глобальной катастрофы при неконтролируемом росте энергопотребления. С тех пор ни одна другая научная проблема не привлекает такого пристального внимания, как проблема настоящих, а в особенности предстоящих изменений климата.

Сегодня одним из главных вопросов существования человечества является вопрос поиска новых источников энергии, которые позволяли бы обеспечить энергией нуждающиеся в ней регионы планеты, повысить их энергобезопасность, улучшить экологическую ситуацию на планете в целом.

На протяжении всей истории человечества проявления электрических, магнитных и электромагнитных эффектов из явлений сложных, загадочных и таинственных трансформировались в явления понятные и известные, получившие широкое распространение и ставшие одной из основ развития человечества и цивилизации.

Электроэнергетика явилась также и началом трансформации исторических перемен в развитии человеческого общества. К. Маркс назвал электричество более опасным врагом старого строя, *«чем все заговоры Бланки»*. Луи Огюст Бланки (1811-1881) –

сторонник заговорщицкой тактики восстания, уничтожения капиталистической эксплуатации путем захвата власти кучкой революционных заговорщиков.

Говорить об эффективности и пользе использования электромагнитных явлений во всех сферах человеческой деятельности не имеет смысла, так как это очевидный факт, хорошо известный всем и каждому. Большинство машин и механизмов в промышленности, на транспорте, в сельском хозяйстве и быту используют при работе электрическую энергию, как и современные системы передачи и обработки информации. Даже там, где применяются другие источники энергии (двигатели внутреннего сгорания, паровые или газовые турбины, ядерные реакторы), электрическая энергия используется для управления работой этих самых установок и регулирования параметров протекающих технологических процессов.

Основой для такого широкого применения электрической энергии послужил ряд ее достоинств, к которым в первую очередь можно отнести:

1) легкость её производства, так как она может быть получена из других различных видов энергии;

2) простоту ее передачи и транспортирования на любые расстояния;

3) простоту и легкость дробления электроэнергии в местах потребления, а также отбора от потока энергии нужной доли;

4) простоту преобразования электроэнергии в другие виды энергии: тепловую; механическую; светового излучения; энергию электрохимических превращений, связанных с электрическими свойствами материи;

5) постоянную готовность к ее применению в отраслях экономики и быту населения, за счет повсеместного наличия ее источника;

6) производство, передачу и преобразование электроэнергии, сопровождающееся сравнительно небольшими потерями (имеет место быть высокий КПД). При этом следует отметить, что КПД потребителей электрической энергии выше, чем например, у гидро- и пневмоустройств;

7) возможность электричества управлять потоками энергии и, следовательно, технологическими процессами. Сейчас практически вся автоматика – это электроавтоматика; вся вычислительная техника – это, прежде всего, электротехнические устройства. Системы связи, передачи и обработки информации в основном строятся на базе электротехнических устройств. Скорость передачи информации и ее обработки в электротехнических устройствах выше, чем в других устройствах.

Электрические явления присутствуют как во всех биологических объектах растительного и животного происхождения, так и в организме человека. Луиджи Гальвани (1737-1798 гг.) в 1791 г. опубликовал *«Трактат о силах электричества при мышечном движении»*. В 1803 г. А. Т. Болотов по результатам своих работ издал в Петербурге книгу *«Краткие и на опытности основанные замечания об электрицизме и о способности электрических машин к помощи от разных болезней»*. Эти работы по воздействию электричества на органическую и биологическую ткань нашли подтверждение и развитие в электротехнических способах воздействия на человеческий организм (лечение токами высокой частоты (ТВЧ), электрокардиостимуляторы, дефибрилляторы и т.п.).

Электричество представляет собой очень концентрированный вид энергии, что подтверждается простыми расчетами: 1 кВт·ч = 1000 Дж/с × 3600 с = 3600000 Дж или 1 кВт·ч = 102 кг·м/с × 3600 с= = 367000 кг·м, а это эквивалентно затратам энергии по поднятию 367 т груза на высоту 1 м.

Развитие электротехники и электроэнергетики связано с работами крупнейших ученых и изобретателей, чьи имена вошли не только в историю, но и в повседневный быт в виде названных в их память единиц измерения физических величин – это Кулон, Ампер, Ом, Вольта, Сименс, Фарадей, Генри, Максвелл, Тесла, Герц, Джоуль и др. Следует отметить отдельно огромный вклад русских исследователей в науку об электричестве и его практическом применении, и это, прежде всего – М. В. Ломоносов, Г. В. Рихман, В. В. Петров, А. Н. Лодыгин, В. Н. Чиколев, М. О. Доливо-Добровольский, П. Н. Яблочков, А. Г. Столетов и др.

Знание истории развития науки и техники, позволяет правильно оценить существующую обстановку в электроэнергетической отрасли, учесть опыт предыдущих поколений и увидеть перспективу развития как самой отрасли, так и экономики в целом.

КРАТКО О ЗНАЧЕНИИ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

В связи с неизбежным развитием и усложнением мира техники все большую актуальность приобретают знания о самой технике в целом – единые представления о строении, конструкции и развитии самых различных машин, приборов, аппаратов. Поэтому требуется расширение общетехнической и фундаментальной подготовки инженеров.

Академик И. Ф. Образцов написал: *«Исследование и формулировка объективных законов строения и развития техники по аналогии с законами природы – одно из главных и мало разработанных направлений общетехнической фундаментализации инженерного образования»*.

Инженер (фр. *ingénieur* – от лат. *ingenium* – способности, изобретательность) – специалист, осуществляющий инженерную деятельность. Инженеры вовлечены, как правило, во все процессы жизненного цикла технических устройств, являющихся предметом инженерного дела, включая прикладные исследования, планирование, проектирование, конструирование, разработку технологии изготовления (сооружения), подготовку технической документации, производство, наладку, испытание, эксплуатацию, техническое обслуживание, ремонт и утилизацию устройства и управление качеством его работы.

В античном обществе инженерное дело впервые приобрело признаки профессии: регулярное воспроизводство, доход от занятия, определенную систему получения знаний. Особенное значение придавалось мастерству архитектора – именно так в Риме называли руководителей строительства. Считалось, что для получения этой профессии необходимы три вещи: врожденные способности, знания и опыт. Причем, кроме знаний прикладных и практических, архитектор должен был обладать философским складом ума. Несмотря на все эти условия, архитекторы (так же как и инженеры других специальностей) относились к *«заурядным работягам»*, к людям второго сорта, находящимся ближе к ремесленникам, чем к ученым.

В период расцвета Римской империи инженеры стали относительно многочисленной профессиональной группой, внутри которой произошло разделение труда: наряду с военными, появились гражданские инженеры, специализирующиеся в строительстве, коммунальном хозяйстве, мелиорации и ирригации. Формальных институтов инженерного образования не было, да и общественные

формы контроля уровня квалификации не сформировались. Обучение проходило на практике и отражало собой цеховую систему подготовки – *«ученик – подмастерье – мастер»*. Вместе с тем инженеры удовлетворяли общественную потребность в создании и эксплуатации техники, строительстве различных сооружений.

Рис. 1. Древнегреческий инженер Архимед (картина Д. Фетти, 1620)
(URL: http://koriolan2002.blogspot.ru/)

В феодальную эпоху осуществилось разделение инженеров на гражданских и военных. Основной специальностью гражданских инженеров средневековья оставалось строительное дело. Однако в связи с развитием металлургии, текстильной промышленности, кораблестроения и т.п. начал формироваться новый тип инженера-промышленника, который полностью оформился лишь только с развитием машинной индустрии.

В феодальную эпоху главными техническими достижениями были: в строительном деле – нахождение новых конструктивных принципов готического стиля построек, усовершенствование техники строительства замков и крепостей; в металлургии – открытие переделочного способа получения железа, начало чугунолитейного дела; в морском транспорте – изобретение компаса, усовершенствование кораблестроения; в военном деле – распространение огнестрельного оружия, а также изобретение книгопечатания.

Основным фактором, вызвавшим позднее к жизни технические успехи, стало низложение рабовладельческого строя, долгое время служившего тормозом внедрения новшеств в процесс производства

орудий и материальных ценностей. Другим фактором, сыгравшим важную роль в ускорении технического прогресса, стало развитие торговли, служившей каналом распространения инноваций.

Понятие «гражданский инженер» появилось в XVI веке в Голландии применительно к строителям мостов и дорог, прижившись затем в Англии, Пруссии и России. В старину в Англии такого человека называли капитан; во Франции – мэтр; в Германии – мейстер (мастер), а в России – размысл (розмысл).

Размысл обязан был размыслить поставленную перед ним задачу со всех сторон, опираясь не только на свой опыт, но и на опыт, накопленный его предшественниками, на свой ум, изобретательность, мечту, фантазию. Таким образом, русское название *«размысл»* по своему существу предвосхитило понимание роли руководителя в разрешении технических задач.

Переломным в профессии инженера стал XVII в. Именно в это время наблюдается рост общественной потребности в инженерах, а общество перестает удовлетворять качество их подготовки, не базирующееся на специфическом фундаментальном образовании. В массовом сознании формируется понятие *«инженерное дело»* как совокупность знаний и умений в самых разных областях техники: в военном деле, в гражданских областях – в строительстве, кораблестроении. До XVII в. у инженеров еще не наблюдаются многие признаки полного профессионализма: отсутствует развитая система специального технического образования, практическая специальная символика группы, инженеры не представляют сплоченной и социально однородной группы, не выработаны нормы поведения.

Появление машинной индустрии позволило совершить поистине революционный переворот в инженерном деле и заявить о вступлении профессии в институциональную стадию с распространением капиталистического способа производства. Именно эпоха машинной индустрии породила того инженера, которого мы отождествляем в современном смысле слова *«инженер»*.

До XVII в. инженерное дело было главным образом сферой деятельности либо гениальных ученых, либо ремесленников-самоучек. Однако запас научных инженерных знаний и приобретенного опыта становился настолько велик, что для его освоения требовалось специальное техническое образование. С конца XVII в. начала развиваться прикладная наука, которая «снизошла» к потребностям промышленности. Именно в этот исторический период появилась обширная техническая литература, создались новые институты – школы прикладных наук, которые выпускали новый тип инженера-

профессионала, обогащенного не только разнообразными знаниями, но и сознанием своей общественной полезности.

Огромное значение для инженерного дела имело учреждение в Лондоне Королевского научного общества (1660 г.) и Французской академии наук (1666 г.). С этого времени инженерное дело как профессия становится зависимым от формальных исследований и целенаправленного обучения. Школы прикладных наук, получавшие всё большее распространение во Франции, также способствовали переходу профессии на институционально оформленную стадию: появились инженеры-профессионалы, имеющие формальные удостоверения своей компетентности и стремящиеся защищать свои профессиональные права и привилегии.

Профессиональная инженерная ассоциация возникла в Англии в 1771 г. и получила название *«Общество гражданских инженеров»*. Основной целью этой организации был провозглашен обмен мнениями в области инженерного дела. Однако это общество не удовлетворяло профессиональных потребностей молодых инженеров, которые в 1818 г. образовали свой институт гражданских инженеров, основной целью которого была помощь в приобретении профессиональных инженерных знаний. Но развитие и использование техники в то время шли настолько быстрыми темпами, что институт не успевал осуществлять взятую на себя задачу. Дж. Стефенсон – известнейший в Англии изобретатель паровоза – основал в 1847 г. новый институт инженеров-механиков, а впоследствии возник еще ряд институтов: в 1860 г. – институт морских архитекторов, в 1871 г. – институт инженеров-электриков и т.п.

Во Франции нет упоминаний о каких-либо формальных инженерных организациях вплоть до 1716 г., когда был образован Корпус мостов и шоссе, который осуществлял координацию всех строительных работ по сооружению мостов и дорог. В 1747 г. была создана специальная школа для работников этого корпуса, впоследствии образовались еще несколько подобных учебных заведений: в 1778 г. – Высшая национальная школа минеров, в 1749 г. – Публичная трудовая школа минеров, в 1794 г. – Публичная трудовая школа, которая впоследствии стала называться политехнической.

В Германии еще в XVIII в. впервые возникла система среднего специального технического образования. Ее появление было связано с острой потребностью развивающейся промышленности в квалифицированных инженерах, с одной стороны, и неспособностью традиционной академической системы образования удовлетворить эту потребность – с другой. Появилась новая форма учеб-

ного заведения – техникум, создающая сокращенный путь приобретения технических познаний. Курс обучения в техникумах продолжался от двух с половиной до четырех лет, а выпускникам присваивалось звание инженера в отличие от выпускников высшей политехнической школы. Первоначально техникумы готовили лишь техников-механиков и строителей. Но рост электротехнической промышленности вызвал необходимость подготовки специалистов-электриков, что повлекло за собой открытие почти во всех техникумах специальных электротехнических отделений. В XIX в. в Англии и Америке инженерами стали называть техников высшего разряда, а научно-образованные техники именовались «*Civil Engineer*». Однако это звание часто не связано с получением высшего образования, которое вплоть до XX столетия не давало никаких привилегий при устройстве на работу, поэтому многие из гражданских инженеров имели чисто практическое образование.

Кроме институтов гражданских инженеров, продолжало развиваться и военно-инженерное образование: в 1620 г. во Франции основана артиллерийская школа, а в 1653 г. в Пруссии была учреждена первая кадетская школа. В XVII в. в Дании появилось первое особое училище для образования военных инженеров, а в начале XVIII в. такие училища были открыты в Англии, Саксонии, Австрии, Франции и Пруссии: 1742 г. – Дрезденское инженерное училище; 1747 г. – Австрийская инженерная академия; 1788 г. – Инженерная школа в Потсдаме.

Технический прогресс и развитие специального инженерного образования способствовали дальнейшему углублению внутрипрофессионального разделения труда. Осмыслением технической задачи, определением способов ее решения стали заниматься инженеры – исследователи, проектировщики, технологи, труд которых стал почти неотличим от труда ученого-прикладника. Конструирование выделилось как исключительная функция инженеров-конструкторов.

Развитие технических наук привело не только к глубокой дифференциации инженеров – разработчиков новой техники, но и способствовало большему сближению с учеными. Производство технических средств с каждым годом становилось все более и более связанным с научной деятельностью, а развитие техники – результатом укрепляющего взаимодействия науки и производства, продуктом совокупного труда, компонентами которого является научная и практическая деятельность. Этот процесс сближения породил группу специалистов, которую сегодня называют научно-технической интеллигенцией.

Таким образом, инженеры превратились во вполне сформировавшуюся социально-профессиональную группу. Они обладали высоким общественным статусом: привлекательным выглядели и характер труда, и высокий заработок, их роль в создании и распространении культурных ценностей. Наиболее мощный всплеск престижа инженерного труда приходится на вторую половину XIX в.

А как зарождалось инженерное дело, как шел процесс становления профессии инженера на Руси?

Слово *«инженер»* в русских источниках впервые встречается в середине XVII в. в *«Актах московского государства»*. Массовая инженерная деятельность на Руси возникает и закрепляется лишь тогда, когда в ремесленном производстве намечается отделение умственного труда от физического. Как и повсюду, исключительной функцией инженера на Руси следует считать интеллектуальное обеспечение процесса создания техники и различных сооружений.

Вместе с тем истоки инженерного искусства на Руси уходят в глубину веков. Еще до прихода на Русь первых инженеров-строителей имелись хорошо укрепленные города: Чернигов, Киев, Новгород и др. Самобытно русское лицо запечатлено в мировых творениях Пскова, Ростова, Суздаля, Владимира и иных городов. В истории Руси есть немало имен русских мастеров, владевших собственными приемами в области строительной механики. Именно об этом говорят сооружения, возводившиеся такими зодчими, как новгородец Арефа и киевлянин Петр Милонег в XII в., каменных дел мастер Авдей – в XIII в., Кирилл и Василий Ермолины, Иван Кривцов, Прохор и Борис Третьяк и другие.

В XI в. занятие строительством получает статус профессии. Строителей оборонительных сооружений именовали *«городники»*, *«мостники»*, *«мастера порочные»*. *«Городники»* занимались строением городских стен, *«мостники»* выполняли работу, состоявшую в устроении различного рода переправ. *«Порочными мастерами»* назывались специалисты по постройке и эксплуатации осадных машин. Они всегда находились при войске, чинили старые и делали новые военные машины.

Раскопки древних городов и крепостей дают множество доказательств существования инженерного дела (дела размыслов) в очень далекие времена – XII-XIV вв. Например, первый наплавной мост в мире через Днепр около Киева, упоминаемый в летописях 1115 г., был построен при Владимире Мономахе, а деревянный мост через Волгу был построен при Дмитрии Донском – в 1380 г.

Влияние иностранных специалистов, в том числе на военно-инженерное дело, было крайне ничтожным. Но со второй половины

XV в. Иван III начал выписывать из-за границы искусных строителей. Так, в 1473 г. был послан в Италию Семен Толбузин для приискания там знающего зодчего. Он привез с собой знаменитого архитектора Аристотеля Фиораванти, который возвел несколько храмов, каменных палат, башен, а также участвовал в ряде военных действий русской армии. В 1490 г. из Италии приехали в Москву архитектор Петр Антоний с учеником, а также пушечный мастер Яков, в 1494 г. – знаменитый стенной мастер Алевиз и Петр-пушечник. В 1504-1505 гг. прибыло еще много итальянских зодчих и пушечных мастеров. Каждый из них обязывался отслужить определенный срок за известную плату.

Приглашенные инженеры и архитекторы сыграли заметную роль в истории русского инженерного дела, способствовали становлению на Руси инженерной профессии. Но в то же время свои, отечественные умельцы могли и делали свое дело мастерски с инженерным размахом. Современные инженеры, архитекторы приходят в изумление от точности практического расчета древних строителей церкви Вознесения в селе Коломенском под Москвой, достигающей в высоту 58 м. Как выдающийся памятник инженерной мысли, произведение искусства и архитектуры у стен Кремля в Москве стоит храм Василия Блаженного, сооруженный великим псковским зодчим Бармой вместе с русским мастером И. Постником.

Официально «инженерами» стали называться специалисты по военному строительству при царе Алексее Михайловиче, и это звание давалось только иностранцам. Фактически русских инженеров в истинном смысле этого слова не существовало вплоть до XVIII в.

В период царствования Ивана Грозного военных строителей разделили на разряды:

1) к высшему разряду принадлежали военные архитекторы-систематики, занимающиеся преимущественно усовершенствованием оборонительной части;

2) ко второму – собственно строители, руководившие сооружением укреплений;

3) к низшему разряду – все остальные строители: каменных, стенных, палатных дел мастера.

Коренные преобразования в инженерном деле произошли в связи с нарастанием тенденций централизации и созданием единого Русского государства. Все военное строительство и изготовление военной техники поступили в ведение Пушкарского приказа, основанного в царствование Ивана IV Грозного. В результате создания Пушкарского приказа постройка оборонительных сооружений сделалась менее произвольной, появились установленные стандарты:

инструкции и чертежи, составленные в приказе. Начали распространяться и, так называемые, городские *«строельные»* книги, заключавшие в себе подробное описание оборонительных оград. При Пушкарском приказе числились: инженеры, или иноземные строители, которые выступали чаще всего экспертами или консультантами: они рассматривали проекты, присылавшиеся с места сооружения, или сами их составляли; городовые мастера – большей частью русские строители, находящиеся постоянно в крупных городах: они рассматривали сметы, которые присылались строителями в Пушкарский приказ и непосредственно руководили строительными работами; мастера и подмастерья − низшие разряды строителей, помощники городовых мастеров, осуществляли непосредственный надзор за производством работ; чертежники, осуществлявшие чертежные работы. Пушкарский приказ был единственной организацией, регулировавшей осуществление инженерных функций.

При Василии Шуйском (1552-1612 гг.) было положено начало некоторому теоретическому образованию русских инженеров: в 1607 г. был переведен на русский язык *«Устав дел ратных»*, в котором, кроме правил образования и разделения войска, действий пехоты, рассматривались и правила сооружения крепостей, их осады и обороны. Своеобразную роль учителей инженерного дела в русской армии взяли на себя шведские офицеры. Инженерные работы производились, как правило, наемными людьми, набираемыми из дворян, боярских детей и дьяков, получавших денежное и натуральное жалование.

Эпоха коренных преобразований в инженерном деле связана с именем Петра I. Почти постоянные, непрерывные войны, сопровождавшие его царствование, сделали необходимым развитие как военного искусства вообще, так и инженерного, в частности. Основной целью преобразовательной деятельности Петра I было дать возможность России стать самостоятельной развитой державой и обходиться по возможности без иностранцев, что и послужило причиной основания корпуса собственных русских инженеров.

Первым шагом для распространения инженерных знаний в стране было направление молодых дворян за границу с целью изучения там архитектуры, корабельного искусства и инженерного дела. Петр I сразу по возвращении из своего первого путешествия по Европе приступил к учреждению учебного заведения, получившего название Школы математических и навигационных наук (1708 г.). Среди преподававшихся в школе предметов значились:

арифметика, геометрия, тригонометрия, а также их практическое применение в артиллерии, фортификации, геодезии, мореплавании.

В 1712 г. открывается первая, а в 1719 г. – вторая инженерные школы, куда начали поступать дети из знатных русских фамилий. Качество образования в этих первых инженерных школах не удовлетворяло даже тем скромным требованиям, которые предъявлял XVIII в. Юноши, посвятившие себя военно-инженерному делу, получали в основном теоретическую, математическую подготовку, дальнейшее же образование по инженерной части им приходилось получать практическим путем, в ходе службы в звании кондукторов. И все же эти первые шаги инженерного образования дали свои плоды: во-первых, повышался образовательный уровень людей военного звания, а во-вторых, постепенно складывался круг образованных инженеров русского происхождения. Кроме специализированной подготовки военных инженеров, Петр I издал Указ (1713 г.) о том, что все офицеры в свободное время должны обучаться инженерству. Таким образом, число русских технических специальностей мало-помалу росло, что привело впоследствии к образованию инженерного корпуса.

В 1724 г. Петр I приступил к формированию инженерного полка, в котором инженеры были разделены на два разряда: полевые и гарнизонные. Численность инженеров в то время была уже довольно значительной, а круг действий вполне определен. Именно с того времени можно считать, что военно-инженерная профессия перешла на свою институциональную стадию, опередив гражданскую специальность где-то на 100 лет. Однако развитие профессии инженера в военной сфере России отставало примерно на 60 лет от европейских темпов. А как же обстояло дело с применением инженерного труда в гражданских областях? Вплоть до петровского времени Русь была страной кустарной промышленности. Наиболее крупными в то время являлись оружейные, литейные и суконные предприятия (отрасли, обслуживавшие армию). Если не считать единичных попыток иностранцев основать на Руси фабрики и заводы в XVI-XVII вв., до Петра I фабричной промышленности не было. Инженерные функции на заводах и фабриках петровского времени вменялись в обязанности определенной категории работников. Гражданских инженеров в современном смысле слова не было. Основной рабочей массой были посессионные крестьяне, приписываемые к фабрике, кроме того, на заводах работали под караулом преступники, солдаты, военнопленные. Такой контингент рабочей силы характеризовался низкой производительностью

труда, отсутствием навыков для тщательной и тонкой работы, незаинтересованностью в результатах своего труда. Но кроме этой, часто недисциплинированной и неквалифицированной массы, на фабриках имелись мастера, знавшие технологию производства и, по существу дела, объединявшие в своем лице и инженера, и квалифицированного рабочего, и ремесленника.

В XVIII в. состоялось окончательное прикрепление мастеровых к фабрикам, что тормозило рост производительности труда и улучшение качества товаров. Отсутствие необходимой для развития капитализма свободы предпринимательской деятельности сказывалось и на инновационной активности.

При Екатерине II промышленная политика постепенно проникается духом предпринимательской свободы и поощрения частной инициативы. За годы царствования Екатерины II число фабрик и заводов увеличилось более чем вдвое. Все это обусловливало необходимость наличия людей, способных решать возникающие технические проблемы, знающих технологии, умеющих заниматься разработкой техники и создавать ее.

В петровское и последующее время инженерная профессия вступает в новую стадию своего развития с возрастающим ускорением. Но для огромной России этого было недостаточно, да и развитие промышленности отличалось большой неравномерностью. Текстильная промышленность развивалась довольно быстро, в отраслях тяжелой промышленности технический прогресс шел черепашьими шагами.

В XIX в. Российская империя вступила со сложным багажом. Старые производственные отношения пришли в явное несоответствие с развитием экономики. Первая половина XIX в. характеризуется тем, что многие отрасли промышленности Российской империи находились как бы еще в зачаточном, точнее *«эмбриональном»* состоянии, или же совсем не прогрессировали, оставаясь на низком технологическом уровне, несмотря на то, что в Европе шла техническая революция, были созданы предпосылки для промышленного переворота, продвигались его начальные этапы.

Рабочие были закреплены за фабрикой подобно крепостным крестьянам. Никакие льготы не могли заменить основного условия промышленного прогресса – свободы труда. В таких условиях потребность в инженерах почти отсутствовала. На фабриках машинный труд не был господствующей формой труда. Отсталая технология и использование подневольного труда посессионных и вотчинных мастеровых сводили функцию технологического контроля к минимуму. На многих фабриках инженеров не было вплоть до

1917 г. Только с середины 30-х годов XIX в. стало наблюдаться одновременное и непрерывное внедрение машин в различные отрасли промышленности, в одних более быстрое, в других – замедленное и менее эффективное. Крайняя неравномерность технического прогресса, быстрыми скачками передвигающегося в одних отраслях и медленно ползущего в других, создала ситуацию, когда на наиболее современных предприятиях инженерные кадры были многочисленны и неоднородны по своей специализации, в то время как в отсталых отраслях экономики *«об инженерстве никто толком не знал»*.

Рис. 2. Проект моста через Неву Ивана Кулибина, 1776 г.
(URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/)

Завершение промышленного переворота создало реальные условия для индустриализации страны. Россия переходила к ней позже других передовых стран. Уже завершилась индустриализация в Англии, близки были к этому в конце XIX в. Германия и США. Как и в других странах, индустриализация началась с легкой промышленности, из которой средства переливались в тяжелые отрасли.

Рост машиностроения, усиленный ввоз машин, техническое перевооружение заводов – все это потребовало подготовленных кадров. С 1860 по 1896 гг. число машиностроительных заводов возросло с 99 до 544, в 5,5 раза, а число рабочих на них с 11600 до 85445 – в 7,4 раза. Были построены такие крупные машиностроительные предприятия, как Обуховский сталелитейный и пушечный, механический завод Нобеля – в Петрограде, паровозостроительный завод в Коломне, пушечный и механический в Перми, машиностроительный – в Одессе и др.

Острая нехватка инженеров, мешавшая развитию производительных сил страны, тормозившая процесс концентрации труда, восполнялась несколькими способами:

1) импортом иностранных специалистов, продолжающимся вплоть до середины XIX в.;

2) вынужденной необходимостью фабрикантов брать на себя функции инженера;

3) слабым контролем за наличием формальных удостоверений квалификации специалиста, что позволяло использовать в качестве инженеров и техников лиц, не имеющих специального образования; так, в 1889 г. 96,8% работающих на промышленных предприятиях были практиками.

Развитие капитализма в России, рост промышленности и концентрации труда делали необходимым значительное увеличение численности инженеров и техников, занятых в гражданских отраслях. Однако в первой половине XIX в. этот род деятельности не пользовался особым уважением в высших сословиях. Несмотря на все старания правительства расширить сеть высших технических учебных заведений, в стране ощущался острый дефицит высококвалифицированных кадров. Это вынуждало снижать требования к сословной и национальной принадлежности соискателей на звание инженера. Так же как и в армии, командный состав промышленности претерпевал демократические изменения: многие втузы и политехникумы, прежде привилегированные, были объявлены формально не сословными. Это была одна из мер расширения количества инженеров в соответствии с растущими потребностями развивающейся промышленности. Другой мерой, направленной на удовлетворение растущей потребности в инженерах, по-прежнему оставался ввоз иностранных специалистов в Россию.

В 1875 г. станочный парк России на 90% был иностранного происхождения. Такое положение практически сохранилось вплоть до начала Первой мировой войны. Причины недостаточного развития станкостроения в стране крылись в слабой металлургической базе России, отсутствии поощрительных мер развития станкостроения, беспошлинном ввозе станков из-за границы, а также в дефиците инженеров и опытных рабочих-станкостроителей.

Это не значит, что станки в России вовсе не производились. Такие крупные заводы, как Киевский, Мотовилихинский (Пермь), Нобеля, братьев Бромлей и другие, производили станки собственной конструкции: токарные, сверлильные, расточные и строгальные. В конце XIX – начале XX веков на Харьковском паровозостро-

ительном заводе были созданы универсальные радиально-сверлильный и долбежно-сверлильно-фрезерный станки оригинальной конструкции.

Отсутствие достаточного числа инженерных кадров тормозило развитие станкостроения. В европейской части России в 1885 г. из 20322 заведующих крупными и средними предприятиями специальное техническое образование имели лишь 3,5%, в 1890 – 7%, в 1895 – 8%. В 1890 г. директорами фабрик работали 1724 иностранца, из них 1119 не имели технического образования. Промышленность России делилась на два сектора: отечественный и концессионный. Предприниматели-иностранцы не брали на свои заводы русских специалистов, не доверяя их квалификации и стремясь сохранить секреты технологии. Инженеры на такие предприятия выписывались, как правило, из-за границы.

Во второй половине XIX в. стремление преодолеть сильную зависимость русской промышленности от иностранных специалистов побудило правительство обратить внимание на развитие в стране системы высшего технического образования.

Одним из старейших технических учебных заведений России был Горный институт, основанный еще в 1773 г. Екатериной II. В 1804 г. он был преобразован в Горный кадетский корпус. Сюда принимались дети горных офицеров и чиновников, знавшие арифметику, чтение, письмо по русскому, немецкому и французскому языкам. Кроме того, за собственный счет принимались дети дворян и фабрикантов. Горный кадетский корпус − одно из наиболее престижных учебных заведений; *«наибольшая часть воспитанников поступала в корпус не с той целью, чтобы окончить полный курс и выйти офицерами по горной части, а главным образом для того, чтобы получить хорошее общее гимназическое образование»*. Горный корпус являлся наилучшим из петербургских «благородных пансионов», но как специальное высшее учебное заведение по горной части он мало выделялся. В 1891 г. в России было всего 603 дипломированных горных инженера.

В 1857 г. в России действовало шесть втузов: Николаевское главное инженерное училище, Михайловское артиллеристское училище, Морской Кадетский корпус, Институт корпуса инженеров путей сообщения, Институт корпуса горных инженеров, Строительное училище Главного управления путей сообщения и публичных зданий.

Во второй половине XIX в. открывается целый ряд технических вузов в ответ на потребности развивающейся промышленности. Так, открывается Московское высшее техническое училище

(1868 г.), Петербургский технологический институт (1828 г.), Томский университет (1888 г.), Технологический институт в Харькове (1885 г.) и другие. Эти учебные заведения были более демократичными по своему положению и составу.

Несколько позднее, в 1906 г., в Петербурге открываются женские политехнические курсы. Их открытие явилось важным событием для развития инженерной профессии в России. Это было реакцией на растущую нехватку специалистов, с одной стороны, и на всплеск движения за эмансипацию женщин – с другой. Под натиском женского движения открывались возможности для участия женщин во все новых сферах деятельности.

Несмотря на открытие новых технических вузов, конкурс в них был довольно высоким и колебался от 4,2 человека на место в Петербургском политехническом институте до 6,6 человека в Институте корпуса инженеров путей сообщения и до 5,9 человека в Институте корпуса горных инженеров (данные 1894 г.).

В многомиллионной массе безграмотного населения инженеры представляли собой группу, по своему общему культурному уровню намного превосходящую тех, с кем ей приходилось интенсивно общаться. Дипломированные инженеры относились к интеллектуальной элите общества. Это были «сливки» интеллигенции. Такому положению способствовал характер технического образования тех лет, которое отличалось универсализмом и отличной общеобразовательной подготовкой.

Доходы инженеров также привлекали к ним взоры простых людей, рабочих, повышая престиж профессии в массовом сознании. Стремление стать инженером (об этом говорят результаты конкурсов), диктовалось не в последнюю очередь достаточно высоким материальным положением выпускника. Материальное положение российских инженеров в конце XIX в. было таково, что приближало их по уровню доходов к наиболее обеспеченным слоям общества, по-видимому, их доходы были самыми большими по сравнению с доходами всех других наемных работников.

Развитие экономики требовало постоянного притока технических специалистов, создания действенной системы их подготовки. В то же время система технического образования XIX в. отличалась определенной консервативностью и не обеспечивала нужного стране количества инженеров, то есть профессия *«инженер»* была не только уникальной, но и дефицитной, несмотря на развитие системы образования, профессиональных сообществ, клубов, атрибутики и символики.

Престиж инженерной профессии неуклонно возрастал с конца XIX века. Высокий статус инженера в царской России, а позднее в СССР официально подкреплялся властью. Так, выпускникам Императорского технического училища жаловалось дворянство.

Основным содержанием деятельности инженера является разработка новых и (или) оптимизация существующих инженерных решений. Например, оптимизация проектного решения (в том числе вариантное проектирование), оптимизация технологии, менеджмент и планирование, управление разработками и непосредственное контролирование производства. Новые инженерные решения зачастую выливаются в изобретения. В своей деятельности инженер опирается на фундаментальные и прикладные науки.

Как представитель технической интеллигенции, инженер, помимо профессиональной компетентности, должен обладать высокой личной культурой и широкой образованностью, социокультурной компетентностью. Исследования Гарвардского университета показали, что 75% успеха профессионала достигаются за счет атрибутивных качеств и только 25% – за счет профессиональных – критериальных качеств. Критериальное знание предлагается человеку в области конкретной профессии. Оно выступает как требование к специалисту соответствовать критериям, предъявляемым к данной профессии. Атрибутивное знание – это внутренний мир человека, кругозор, личностные качества, вырабатываемые с помощью гуманитарных наук.

На взгляд авторов, техническое превосходство Запада есть результат западной культуры, а не западной инженерной мысли. Вот почему формирование общекультурной компетентности или шире – базовой культуры – первоочередная задача инженерно-технического образования.

Каждая культура вырабатывает свой идеал и тип личности. Лики культуры – это лики личностей. Как смысловой мир, культура укоренена в личности, именно личность является глубинным основанием культуры. Культуру творят личности, но личность формируется в поле культуры, поэтому саму культуру можно определять как механизм, искусственно изобретенное устройство саморазвития, самоформирования личности, путь и способ создания себя самого в личностном плане. Личность есть предельная цель любой культуры. Культура личности – результат её социального и индивидуального развития. Социальная среда выступает как необходимое условие формирования личности. При этом в социальном плане человек более зависим, чем в культурном. Инкультурация – это процесс овладения культурой, вхождения в культуру; процесс, в ходе

которого индивид осваивает традиционные способы мышления и действий, характерные для культуры, к которой он принадлежит.

Социальный и культурный план личности взаимопроникают. Внутренняя духовная жизнь личности относительно независима от общества. Культурный, или духовный, план личности есть поле смыслов и ценностей, а социальный план – поле реальных человеческих взаимоотношений. Оба эти плана оказывают влияние друг на друга. Человек входит в общество через овладение культурой. Общество же заинтересовано в развитии культуры. Именно культура выстраивает вокруг человека социальную среду. Упадок культуры ведет к деградации общества и наоборот. Поэтому культура – фактор надежности в обществе. Чем выше культура, тем выше ценится труд, тем более развито общество. Первая черта делового человека – профессионализм. Деловой человек – это не просто инициативный активист, а профессионал высокой квалификации. Для инженера важно понимать истоки и смысл техники и технического творчества, быть профессионалом. В США, например, немыслим инженер, не умеющий лично обращаться с любой машиной своей специальности. Каждый должен делать своё дело хорошо: крестьянин – растить и убирать урожай, инженер – создавать машины.

Каковы же ценностные ориентации инженерного мышления? К ним можно отнести желания инженера действовать в соответствии с принятыми стандартами технического конструирования. Инженерное мышление ориентируется на принцип функциональности конструкции. В соответствии с этим она должна наилучшим образом отвечать своему прямому назначению. Конструктор должен стремиться к обеспечению надежности и долговременности в работе своего изделия. Технологичность изготовления предполагает согласование принципов связи различных узлов и деталей конструкции. Почти всегда полезно соблюдать принцип унификации, который предусматривает использование серийно выпускаемых деталей и узлов. В современных условиях необходимо ориентироваться на наименьшую энергоёмкость, то есть минимальное потребление энергоносителей, а также непременно учитывать экологические параметры конструкции. Эстетичность конструкции в немалой степени способствует успешному её функционированию.

Творческий характер инженерного труда проявляется в создании систем и процессов, которые без участия человека возникнуть не могут. Подобная деятельность является реакцией на конкретные потребности общества, а не на необходимость применения результатов научных открытий.

Инженерное творчество и научные исследования связаны между собой, но эта связь не линейна: в истории известны случаи, когда системы, созданные инженерами, заставляли ученых радикально пересматривать свои представления о научном знании.

Нововведения – это инженерная, а не научная деятельность. Последняя, как известно, предполагает изучение законов природы. Как свидетельствует опыт Японии, Израиля, Южной Кореи и других промышленно развитых стран, основу инновационной экономики составляет именно инженерная деятельность.

Если раньше делали ставку на инженера-изобретателя, то сегодня требуется новая квалификация – «системный инженер», умеющий создавать систему с включенными в нее изделиями. Без систем изделия никому не нужны.

Инженер – профессия творческая, да и само слово *ingenieur* в переводе с французского означает *«изобретатель»*. Инженер – это специалист в какой-либо области техники с высшим техническим образованием. Инженер одновременно выступает в двух ролях: и как творец идеи, и как её технический разработчик. Наука, техника, искусство – различные области творчества человека. Техника стоит в какой-то мере между наукой и искусством, как и инженер в какой-то мере объединяет в себе и художника и мыслителя.

Определив фундаментальные характеристики и специфику современного этапа техногенной цивилизации, специалисты формулируют следующие требования к инженерной деятельности:

– высокий динамизм производства, быстрое его обновление, появление новых видов инженерно-технической деятельности потребовали профессиональной мобильности, умения быстро переучиваться и приобретать новые знания, психической и физической устойчивости. Не случайно, в частности, японские промышленные компании предпочитают нанимать выпускников вузов, имеющих в дополнение к специализированному широкое общекультурное образование. Конечно, для компании важно, что может делать работник, но, может быть, еще важнее его способность к дальнейшему обучению;

– такие новые направления инженерной деятельности, как вычислительная техника, компьютерные технологии требуют от специалиста высокоразвитых умений отбирать и анализировать информацию, принимать на ее основе конструктивные решения;

– задача логической формализации и математического описания процессов требует от специалиста умения конкретизировать свое представление об объекте, строго организовывать относящуюся к

нему информацию, выделять структуру и междуэлементные взаимосвязи, то есть системности построений. Но система как аналитический конструкт не является замкнутой моделью, но может быть представлена как составляющая системы более высокого порядка, в конечном счете, социальной. Отсюда следует необходимость социальной компетентности специалистов.

Следовательно, идеальная модель инженерной профессиональной деятельности в современной ситуации включает в себя не только факторы технико-технологической оптимизации (экономичности, эффективности, надежности, трудозатратности, эксплуатационных характеристик и т.п.) в их определенном сочетании, но и социокультурные факторы использования техники и технологии в обществе, понимания их социокультурных смыслов.

Второй аспект намного сложнее. Суть проблемы состоит не просто в предметном расширении поля профессионального знания, и не просто в том, чтобы показать, как социокультурный подход дополняет область инженерного профессионализма.

В рамках профессиональной инженерной культуры теория должна коррелировать с практической деятельностью, а эффективность практической деятельности оцениваться в первую очередь по ее социокультурным последствиям. В этом случае *«силы ответственного свершения не будут уходить в «автономную область культуры»*, и профессиональные действия в дополнение к «элементарной биологической и экономической мотивировке» приобретут более широкие культурные, в частности, этические смыслы и значения. И тогда об инженерной культуре перестанут говорить, что здесь «все богатство культуры отдается на услужение биологического акта».

Нормативно-ценностные аспекты, проблемы гуманитарной оценки технических разработок, этическая ответственность и учитывающие общественную ситуацию основания оценок все более обозначаются в качестве неотложных открытых проблем. Техника в ее разработке и использовании не может далее ограничиваться ориентированностью на ценности полезности. Становится все более очевидным, что решение не только технических, но и этических проблем определяет уже сегодня наше будущее. Прежде этика была антропоцентристски направлена только на отношения между людьми и последствия индивидуального поведения. Теперь, когда с помощью техники появилась генная инженерия и другие технологии биотехнического вмешательства в законы наследственности

или возможность тотального технократического контроля над обществом с помощью электронной вычислительной техники, проблема ответственности инженера приобретает иное звучание.

Традиционные паттерны инженерной культуры, опирающиеся на естественные и технические науки и нацеленные на создание локальных технических устройств, отвечающих требованиям эффективности, качества, надежности, экономичности и т.п., сегодня недостаточны. Мировой опыт свидетельствует о том, что их следует дополнить социокультурными компонентами. От системотехнического проектирования уже наметился путь к социотехнической проектной деятельности, в которой техника занимает подчиненное по отношению к интересам людей и сохранению природных объектов и процессов положение. Такое качество инженерно-технической деятельности определяется социальной компетентностью специалиста, которая проявляется, прежде всего, в умении определить и оценить последствия воздействий технической деятельности на общество и природу. Это должно осуществляться еще на уровне конструирования и принятия решений в соотнесении с социокультурным контекстом их реализации.

Исходя из сказанного, специалистами определены следующие *характеристики идеальной модели профессиональной инженерной культуры*.

Во-первых, в условиях техногенной цивилизации универсальным системообразующим фактором профессиональной культуры должны стать *нормы и стандарты*, которые являются способом перевода языка теории на язык практического действия.

Во-вторых, универсальные алгоритмы деятельности в эпоху техногенной цивилизации необходимы, прежде всего, в целях оптимального ограничения любых ее деструктивных последствий. Это предполагает умение инженера решать профессиональные проблемы такими *технологическими* средствами, которые максимизировали бы позитивные и минимизировали негативные последствия воздействий техники на природное и искусственное окружение.

В-третьих, структурной характеристикой профессиональной культуры инженера является сегодня социальная компетентность, предполагающая его ответственность перед другими за последствия принимаемых им решений на всех уровнях инженерной деятельности – от проектирования до практического осуществления.

В настоящее время сущность изменения в профессиональной инженерной культуре заключена в установлении соответствия профессиональной деятельности, ее потенциала, результатов и последствий критериям социальной эффективности и приемлемости.

Лишь на этом пути могут быть выработаны корректные ценностные ориентиры и задан новый тип индивидуальной и групповой профессиональной деятельности, соответствующие задаче конструктивного решения социально значимых проблем.

Развитие электротехники и электроэнергетики связано с работами большого количества людей, имеющих отношение к инженерной деятельности: гениев, изобретателей, ученых, просто любознательных людей, всех тех, кто неравнодушен к познаниям, творчески мыслит, трудолюбив и нравственно богат. Изучение исторических вех развития электроэнергетики является своего рода приобщением, затрагивает побудительные и мотивационные стороны личности будущего инженера, экономические потребности, и при этом возникает эффект присутствия, который позволяет как бы быть соучастником рассматриваемых событий.

1. ИСТОРИЧЕСКИЕ ВЕХИ В РАЗВИТИИ ОБЩЕЙ ЭНЕРГЕТИКИ

1.1. Исторические начала энергетики: от водяного колеса до первых паровых машин

С древнейших времен люди нуждались в сторонней силе, в простейших двигателях, которые помогали бы выкорчевывать деревья; приводили бы в действие приспособления для подачи воды на поля; помогали пахать землю и вращать жернова, перемалывающие зерно и т.п.

В странах Древнего Востока, в Египте, Индии, Китае для этой цели в III тысячелетии до н.э. использовали животных и рабов. Затем на смену двигателям, использующим мышечную силу, пришло водяное колесо – два диска, закрепленных на одном валу, между которыми помещались дощечки – лопасти. Поток воды в реке давил на лопасти, поворачивая основное колесо, а затем через вал колеса движение передавалось жерновами (рис. 3).

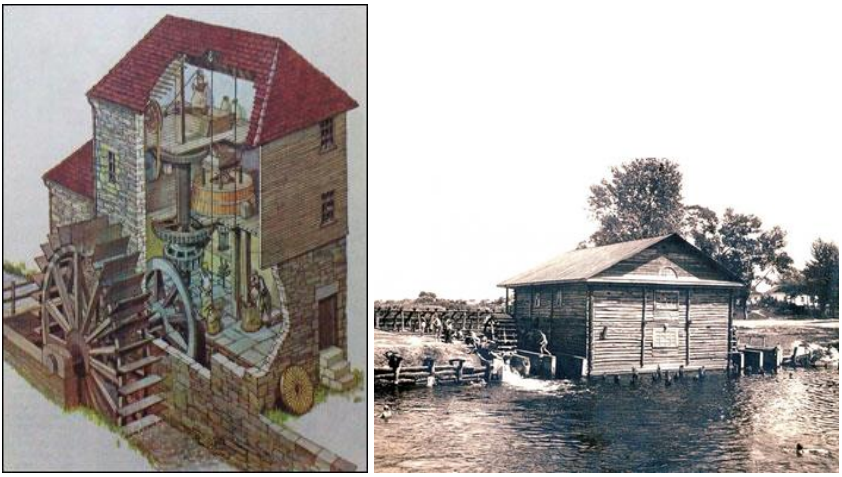


Рис. 3. Водяные мельницы
(URL: http://engineering.slovaria.ru/ntes/vodyanaya-melnitsa; http://www.etoretro.ru/)

Водяные колеса использовались на Ниле, Евфрате, Янцзы для подъема воды, и их зачастую вращали рабы. Затем древние греки и римляне использовали водяные колеса в качестве двигателя для привода насосов и мельниц, для выжимания масла. Позднее водяные колеса стали широко использоваться в ремесле, затем в промышленности.

Ранние водяные двигатели очень просто сочленялись с водоподъемными устройствами: водяное колесо, установленное на сваях, вбитых в дно реки, приводилось в движение потоком воды; на ободе колеса размещались черпаки, поднимающие и выливающие воду в отводной желоб. Таким образом объединялись энергетическая и транспортная машины. Свободно стоящие («плавучие») водяные колеса использовали только скоростную составляющую энергии воды.

Более сложным было применение водяного колеса для зерновых мельниц: между жерновом и водяным колесом сооружался передаточный механизм, обеспечивавший вращение водяного колеса вокруг горизонтальной оси, а жернова – вокруг вертикальной оси.

Стремление обойтись без сложной механической передачи между валами, расположенными под прямым углом, привело к созданию (для привода мельничных поставов) водяных колес с вертикальным валом. Чтобы струя воды, направляемая на лопатку такого колеса, не отклонялась силой тяжести, струе пришлось придать значительную скорость. Струя, падая на плоскую лопатку с большой скоростью, вызывала сильное разбрызгивание; во избежание этого лопатки стали делать изогнутыми. Так возник прототип современных активных гидравлических турбин.

Увеличение числа гидросиловых установок, накопленный опыт, а главное − недостаток в реках с большой скоростью течения потребовали перехода к более целесообразному использованию водных энергетических ресурсов. Началось сооружение плотин и деривационных каналов, позволившее использовать медленно текущие равнинные реки и создавать условия для более эффективной утилизации гидроресурсов. При сооружении плотин использовалась не только скорость потока, но и энергия положения: конструировались средне- и верхненаливные водяные колеса. Верхненаливные колеса были в то время наиболее эффективными: их КПД достигал 75%. Именно в этой форме гидравлический двигатель стал использоваться в быстро развивавшейся энергетике феодального общества.

На территориях, не располагавших гидравлическими энергоресурсами, сооружались метровые двигатели, преимущественно для привода мельничных жерновов. Однако крайняя неравномерность и низкая концентрация природной, «готовой», ветровой энергии, а также трудности эффективного аккумулирования механической энергии не позволили энергии ветра занять заметное место в общем энергетическом балансе.

С III тысячелетия до н.э. люди использовали паруса для движения лодок и судов, но только в VII в. н.э. персы изобрели ветряную мельницу с крыльями (рис. 4), после чего началась история ветряных двигателей.

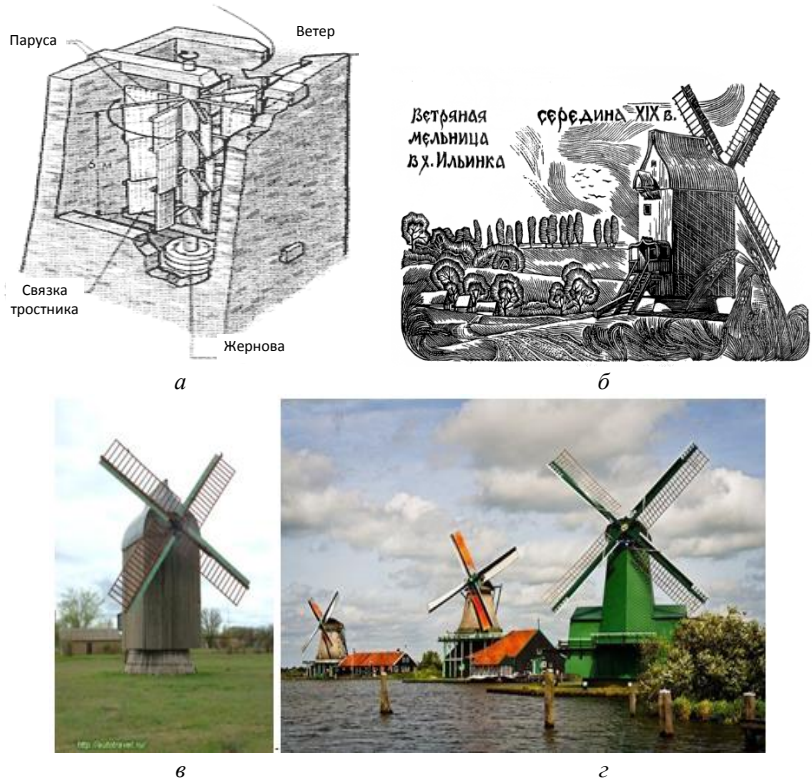
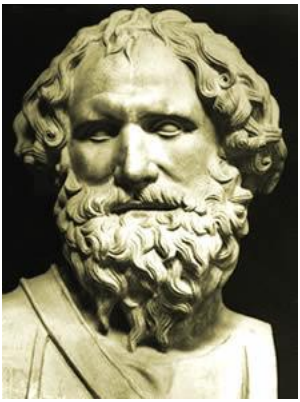


Рис. 4. Ветряные мельницы:
а – персидская VII в. н. э.; б – в хуторе Ильинка на Нижнем Дону;
в – реконструкция мельницы в хуторе Ильинка;
г – современные, находящиеся в Голландии
(URL: http://attempttrinity.blogspot.ru/; http://meotyda.ru/;
http://worldpix.ru/niderlandyi-vetryanyie-melnitsyi-zaanse-shans/)

Римский писатель Марк Витрувий Полион в I в. до н.э. впервые описал водяное колесо, которое вместе с ветряными мельницами вплоть до XVII в. являлись основными типами двигателей. В конце XVII – начале XVIII вв. в Италии, Англии, России и других государствах делались неоднократные попытки создать двигатель, не зависящий от движения воды рек и направления ветра, но идея использования пара, приводящего в работу двигатель, возникла благодаря размышлениям и опытам древних мыслителей.

Архимед (около 287-212 гг. до н.э.) (рис. 5, *а*) – один из гениальных исследователей античного периода, творец древней механики, великий математик. Он открыл гидростатический закон и обосновал теорию рычага, создал начала математического анализа, придумал катапульту, паровую пушку, водоподъемный «архимедов винт», зубчатый редуктор, приборы для измерения размеров удаленных тел и многое другое.



а

б

Рис. 5. Архимед (а) и Герон из Александрии (б)
(URL: http://lifesci.ru/; http://cartoonwrite.weebly.com/)

Герон из Александрии (рис. 5, *б*) еще в 70-е годы н.э. изобрел простейшую паровую турбину – эолипил Герона (рис. 6). Сила пара, вырывающегося из шарообразного сосуда, в котором кипела вода, через Г-образные трубки, вращала этот сосуд.

В середине XVIII в. человечество вплотную подошло к одному из важнейших моментов в истории технического творчества – использованию водяного пара для приведения в действие различных механизмов.

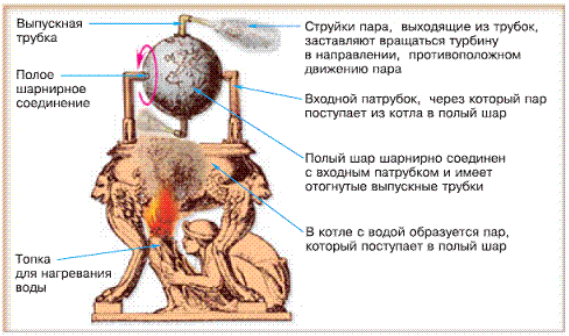
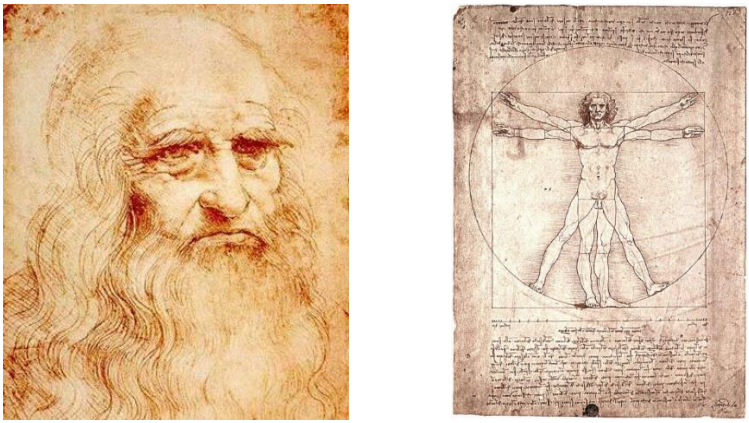


Рис. 6. Эолипил Герона
(URL: http://www.brain-food.ru/)

В истории попыток использования пара записаны имена многих ученых и изобретателей: итальянцев – Леонардо да Винчи и Джамбаттиста делла Порта; французов – де Ко и Д. Папена; англичан – Т. Сэвери и Т. Ньюкомена; русских – И. И. Ползунова, отца и сына Черепановых и многих других.

Леонардо да Винчи (1452-1519 гг.) – гениальный мыслитель, многогранный талантливый изобретатель и художник (рис. 7, *а*).



а *б*

Рис. 7. Леонардо да Винчи (а) и его витрувианский человек (б)
(URL: http://lybov.radugamirov.ru/; http://eat2life.com/selenium/)

Он оставил в наследство 5000 страниц научных и технических описаний, чертежей, эскизов: шлюзовые ворота со створками, текстильные станки, роликовые подшипники, центробежный насос, паровая пушка, пистолет с колесным затвором, гидравлический пресс, механизмы, преобразующие возвратно-поступательное движение во вращательное и наоборот, и многое другое.

1.2. Эпоха пара и паровых машин

Джамбаттиста делла Порта (1538-1616 гг.) исследовал образование пара из воды, что было важно для дальнейшего использования пара в паровых машинах, исследовал свойства магнита.

В 1665 г. во Франкфурте вышла книга занимавшегося устройством фонтанов в поместьях знатных особ французского инженера и архитектора Соломона де Ко *«Причины движущих сил с различными полезными и забавными историями»*. В книге под № 5 описан

«…способ поднимать воду с помощью огня. Может служить основою для различных машин…».

Идею использования пара для подъема воды развил англичанин Эдуард Сомерсет (лорд Вустер), второй маркиз Вустерский, живший во времена войны Карла I со своим парламентом. Страстное увлечение машинами и механизмами в юности сменилось не менее страстным увлечением политическими интригами, приведшими его в тюрьму, затем побег из нее во Францию, возвращение в Англию в качестве французского шпиона и опять заключение в Тауэр. После освобождения в 1663 г. Вустер опубликовал книгу *«Век тех имен и образы тех изобретений, которые приходят мне на память»*. В книге под №68 описан способ совершать работу с помощью пара.

Любопытно, что английские и французские историки техники до сих пор спорят о том, кому принадлежит приоритет в изобретении паровой машины-насоса: Соломону де Ко или Вустеру, приводя в доказательство тот или иной документ, заведомо опровергаемый противоположной стороной.

Другой претендент на звание изобретателя паровой машины-насоса англичанин Сэмюэль Морленд (1625-1695 гг.) прожил богатую приключениями жизнь: политика, изобретательская деятельность, затем опять политика, создание английской разведывательной службы и т.п. Именно он преподнес в 1683 г. королю Франции Людовику XIV рукопись *«Начало новой силы огня, открытой кавалером Морлендом в 1682 году и представленной его Христианнейшему Величеству»*. Он знал работы Вустера, но считал только себя *«первооткрывателем идеи использования силы огня и воды для совершения работы»*. С. Морленд достаточно хорошо знал количественные соотношения между водой и водяным паром, однако так же как и его предшественники не оставил достаточно убедительных сведений о практическом создании какой-либо машины.

Размышляя над тем, почему насос для фонтана великого герцога Флорентийского не хочет всасывать воду на запланированную 15-метровую высоту, итальянский математик Эванжелиста Торричелли (1608-1647 гг.) предположил, что воздух имеет вес. Для проверки гипотезы он придумал гениальный по своей простоте и убедительности опыт, который теперь известен любому школьнику.

Сразу же разгорелась яростная дискуссия между сторонниками нового учения и сторонниками аристотелевой формулы: *«...природа не терпит пустоты»*. К последним относился и великий французский физик Блез Паскаль (1623-1662 гг.), который, стремясь доказать неправоту Торричелли, провел опыт с ртутью на высокой горе

Пюи-де-Дом и ..., убедившись в правоте Торричелли, стал ярым сторонником и пропагандистом теории атмосферного давления.

Узнав о работах Торричелли, магдебургский бургомистр и изобретательный физик-экспериментатор Отто фон Герике (рис. 8), используя атмосферное давление, поставил и описал несколько впечатляющих опытов.

Рис. 8. Отто фон Герике (1602-1686 гг.)
(URL: http://www.eduspb.com/)

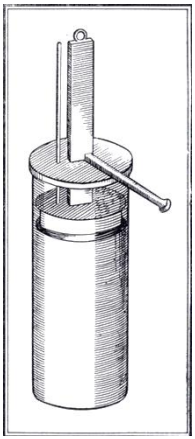
Наиболее известен получивший название *«магдебургские полушария»* опыт, который Герике провел через 11 лет после открытия, сделанного Торричелли. Другой весьма впечатляющий опыт им был осуществлен в 1654 г. в Регенсбурге. Соединив полость большого шара, из которого предварительно был откачан воздух, с цилиндром, он предложил двадцати мужчинам крепко ухватиться за веревку, соединенную через блоки с поршнем этого цилиндра. Неожиданно Герике открыл кран, соединяющий шар с полостью цилиндра под поршнем, и воздух ворвался в шар, поршень под действием атмосферного давления резко опустился, подняв над землей всех, кто пытался удержать его. Путь для создания нового двигателя был открыт. И действительно, если поднять поршень, а затем создать под ним вакуум, то атмосферное давление с силой опустит его, совершив полезную работу.

В 1674 г. появился труд медика по профессии и физика по призванию Дени Папена (рис. 9, *а*) *«Новые эксперименты с вакуумом и описание машин для его производства»*, а в 1690 г. – его статья *«Новый способ получать дешевой ценой большие движущие силы»*.

Вот как описал Папен свое изобретение: *«Наливаю в цилиндр немного воды, опускаю в него поршень до самой поверхности оной ... вода под действием огня начинает кипеть и обращаться в пар, который производит давление на поршень и поднимает его до верха цилиндра, преодолевая давление атмосферы... После того отнимается огонь, и пар, сгущаясь благодаря охлаждению, производит в цилиндре пустоту. Теперь машина в состоянии произвести механическое действие, ибо поршень опускается с силой, равной давлению атмосферы, и может поднимать необходимый груз при помощи веревки и блоков»*.

Рассказывают, что Папен построил пароатмосферную машину (рис. 9, *б*) и установил ее на своем судне в сочетании с гидравлическим двигателем, но испугавшиеся конкуренции судовладельцы через некоторое время ее разрушили. Он совершенно ясно писал о своем судне другу и советчику Готфриду Лейбницу: *«Сила течения настолько ничтожна по сравнению с силой моей машины, что с трудом можно заметить более быстрый ход вниз по течению, нежели вверх. В ней заложено все нужное мореплаванию, чтобы не зависеть от течений и ветра»*. В 1708 г. Папен предложил Лондонскому Королевскому обществу устроить соревнование двух судов, одно из которых должно было быть оборудовано машиной Папена, другое – машиной, работающей по принципу Севери: *«...Если я выиграю это соревнование, и только в этом случае, я покорно прошу возместить мои расходы, затраты времени и труда...»*. Предложение осталось без внимания, Дени Папен к тому времени слыл неудачником, а Томас Севери уже был членом Королевского общества.

а

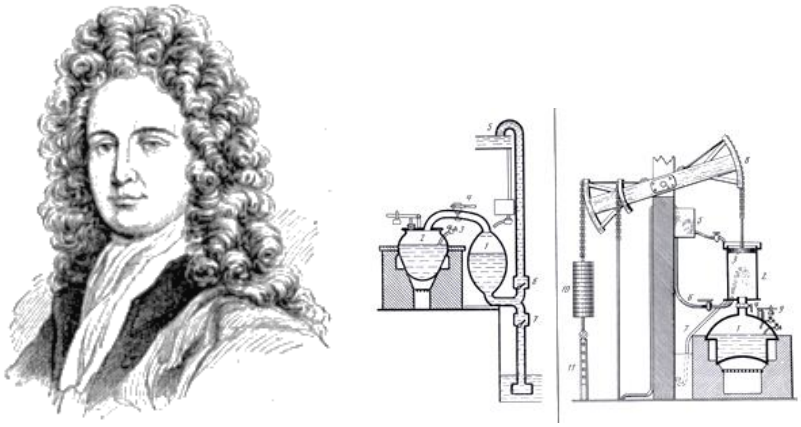


б

Рис. 9. Дени Папен (1647-1714 гг.) (а)
и его пароатмосферная машина (1690 г.) (б)
(URL: http://biblio.giuvus.ru/biblio/archive/shuhardin_tehnika/)

Судовладелец, а затем капитан торгового флота англичанин Томас Севери создал первую паровую машину-насос (рис. 10, *б*) и получил на нее в 1699 г. патент, который гласил: *«Это – новое изобретение для подъема воды и получения движения для всех видов производства при помощи движущей силы огня имеет большое значение для осушки рудников»*. По своему устройству это была та же машина, которую предлагали Вустер и Морленд, но с одним очень существенным отличием – в ней впервые была использована конденсация пара за счет его охлаждения. Свою машину Севери увековечил в книге под названием *«Miner's friend» («Друг рудокопа»)*.

В машине Севери паровой котел был отделен от цилиндра и новое, по сравнению с паровой установкой Дени Папена, состояло в отделении парового котла от рабочего пространства, но по-прежнему работа пара и его конденсация происходили в одном и том же сосуде. Попеременное нагревание и охлаждение сосуда требовали затраты большого количества топлива (до 80 кг угля на 1 л.с. в час), и машина Томаса Севери была крайне неэкономичной. По письменным свидетельствам современников, паровой насос Севери, или, как его называли, «друг рудокопов», вначале применяли в очень ограниченном числе случаев, но в то же время в XVIII в. он довольно широко распространился в Англии и других странах.



а *б*

Рис. 10. Томас Севери (1650-1715 гг.) (а) и схема его насоса (1702 г.) (б):
1 – камера насоса; 2 – паровой котел; 3, 4 – краны; 5 – верхний резервуар;
6 – нагнетательный клапан; 7 – всасывающий клапан

(URL: http://biblio.giuvus.ru/biblio/archive/shuhardin_tehnika/)

Водоподъемник Севери работал по принципу засасывания воды за счет атмосферного давления в камеру, где создавалось разрежение при конденсации пара холодной водой. Паровые машины такой конструкции были крайне неэкономичны и неудобны в эксплуатации, их нельзя было приспособить для приведения в действие станков, они потребляли огромное количество топлива, а коэффициент полезного действия их был не выше 0,3%. Однако потребность в откачке воды из шахт была настолько велика, что даже эти громоздкие паровые машины типа насоса получили некоторое распространение.

В 1707 г. одна из машин Севери была приобретена Петром I и установлена в Петербурге в Летнем саду для приведения в действие фонтанов.

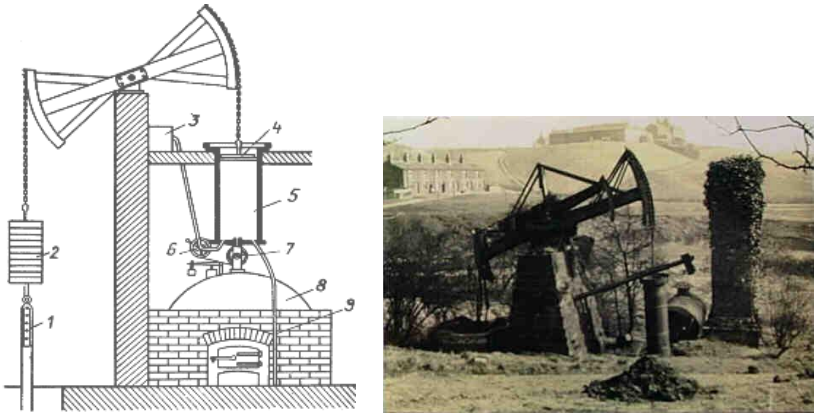
Построить первые практически работающие паровые машины довелось английскому кузнецу Томасу Ньюкомену (1663-1729 гг.), который, объединившись со стекольщиком Джоном Коули и самим Томасом Севери, создал в 1711 г. *«Компанию обладания правами на изобретение установки для подъема воды посредством огня»*.

Машина Ньюкомена не являлась паровой машиной в современном понимании этого слова, так как движущей силой в ней по-прежнему был не водяной пар, а атмосферное давление воздуха – из-за этого ее называли «атмосферной». Хотя в машине водяной пар служил, как и в машине Севери, для создания разрежения в цилиндре, но был предложен и подвижный поршень – главная деталь современной паровой машины.

Паровой водоподъемник Ньюкомена-Коули (рис. 11, *а*) работал следующим образом: при опускании насосной штанги *1* и груза *2* поршень *4* поднимался и в цилиндр *5* через открытый кран *7* из котла *8* поступал пар, давление которого слегка превышало атмосферное. Пар служил для частичного подъема поршня в цилиндре, открытом сверху, но главная его роль заключалась в создании в нём разрежения. Для этой цели, когда поршень машины достигал своего верхнего положения, кран *7* закрывался, и из емкости *3* через кран *6* в цилиндр впрыскивалась холодная вода. Водяной пар быстро конденсировался, и атмосферное давление возвращало поршень в низ цилиндра, производя подъем насосной штанги. Из цилиндра выпускался конденсат трубкой *9*, поршень снова поднимался за счёт подачи пара, и описанный выше процесс повторялся. Машина Ньюкомена – это двигатель периодического действия.

Паровая машина Ньюкомена была совершенней машины Севери, более простой в эксплуатации, более экономичной и производительной. Однако первые выпускаемые машины работали очень неэкономично. Так, для создания мощности в одну лошадиную силу в час сжигалось до 25 кг каменного угля, поэтому коэффициент полезного действия составлял всего около 0,5%. Введение автоматического распределения потоков пара и воды упростило обслуживание машины, время хода поршня снизилось до 12-16 мин, что уменьшило габариты машины и удешевило конструкцию.

Первая пароатмосферная машина Ньюкомена начала свою работу в 1712 г. на каменноугольной шахте близ Вулверхемптона (Англия), а последняя закончила свою работу близ Ковентри в 1934 г. Пароатмосферная машина Ньюкомена, более экономичная (КПД ≈ 1%) и простая в эксплуатации, позволяла откачивать воду с глубины до 30 м и получила широкое распространение не только в Англии, но и во многих странах Европы, в том числе в Австрии, Бельгии, Франции, Венгрии Швеции. Мощность последних машин по сравнению с первыми (10-12 л. с.) достигала значения 75 л. с. Однако машина Ньюкомена, прекрасна работающая в качестве водоподъемного устройства, не могла удовлетворить настоятельную потребность в универсальном двигателе, оставаясь всего лишь насосом.



а *б*

***Рис. 11. Паровая водоподъемная установка Ньюкомена-Коули (а) и насос Ньюкомена* (б)**

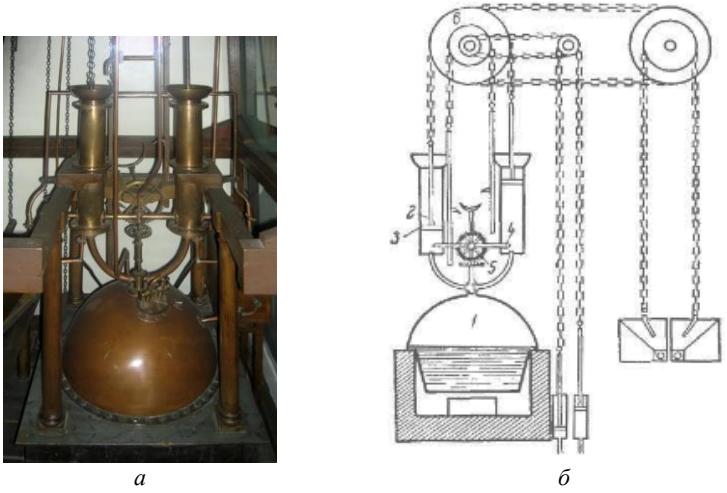
(URL: http://energetika.in.ua/ru/; http://www.moremhod.info/)

Машины Ньюкомена были приобретены Петром I для откачки воды из дока в Кронштадте. Пароатмосферные машины как Севери,

так и Ньюкомена были громоздки и имели малый коэффициент полезного действия (КПД ≈ 0,3%).

Иван Иванович Ползунов (1729-1766 гг.), талантливый русский механик, сконструировал и построил первую паровую машину с универсальным тепловым двигателем (рис. 12, *а*). В проекте Ползунова не только был использован предшествующий опыт постройки подобных машин, но и содержались совершенно новые идеи, предвосхитившие развитие теплотехники на многие десятилетия вперед. Созданная машина, кроме своей универсальности – она была пригодна для любого промышленного применения в качестве механического двигателя – отличалась тем, что была машиной непрерывного действия, имела два паровых цилиндра, автоматически действующие пароораспределительный и водораспределительный механизмы, в ней предусматривалось питание котла подогретой водой и автоматически поддерживался уровень воды в котле.

«Огненная машина» (двигатель) русского горного мастера Ползунова предназначалась для приведения в действие механизмов одной из плавильных печей Барнаульского завода.



а *б*

Рис. 12. Модель паровой машины И. И. Ползунова (а) и схема его теплового двигателя (б) (по проекту 1763 г.)
(URL: http://www.barnaul-altai.ru/news/calendar/; http://energetika.in.ua/ru/)

По проекту Ползунова (рис. 12, *б*) пар из котла *1* подавался в один, скажем, левый цилиндр *2*, где поднимал поршень *3* до крайнего верхнего положения. Затем из резервуара в цилиндр впрыскивалась струя холодной воды *4*, что приводило к конденсации пара. В результате давления атмосферы на поршень он опускался, в то

время как в правом цилиндре в результате давления пара поршень поднимался. Водо- и пароораспределение в машине Ползунова осуществлялось специальным автоматическим устройством *5*. Непрерывное рабочее усилие от поршней машины передавалось на шкив *6*, насаженный на вал, с которого движение передавалось водопараораспределительному устройству, питательному насосу, а также рабочему валу, от которого приводились в движение воздуходувные меха.

В 1766 г. машина И. И. Ползунова была построена и установлена на Колывано-Воскресенских заводах на Алтае для приведения в действие воздушных мехов. Самому же изобретателю не удалось дожить до пуска в работу своей машины, так как И. И. Ползунов умер в 1766 г. за несколько дней до этого события. За короткий период своей работы, а он составил всего около 14 недель, машина полностью окупила первоначальные затраты на ее изготовление и принесла прибыль.

Первые паровые устройства и машины имели низкий КПД, так как, прежде всего, не было теоретических знаний о теплоте, давлении пара и др.

Михаил Васильевич Ломоносов (рис. 13, *а*) – гениальный русский ученый, мыслитель, экспериментатор, поэт, который много сделал в области различных наук и в каждой из них исследовал самые фундаментальные вопросы. Он изучал агрегатное состояние вещества и термометрию, внедрял физические и химические методы исследования. Именно он экспериментально доказал и сформулировал в 1748 г. закон сохранения вещества, за 18 лет до подобных опытов француза Лавуазье, которому мировая наука приписала открытие закона сохранения материи. Ломоносов впервые дал правильное объяснение теплоте, как движению мельчайших частиц – корпускул.

М. В. Ломоносов – выдающийся русский ученый, мыслитель-материалист. Родился в селе Денисовка Архангельской губернии (ныне с. Ломоносово Архангельской области). В 1731-1735 гг. Ломоносов учился в Славяно-греко-латинской академии в Москве; в 1735-1736 гг. – в университете при Петербургской академии наук; в 1736-1741 гг. – за границей в г. Марбурге и Фрейбурге. Возвратившись в Россию, был избран в 1742 г. адъюнктом, а в 1745 г. – академиком Петербургской академии наук.

По своему мировоззрению Ломоносов был материалистом. Он считал, что материя и движение существуют вечно, отрицал допускавшийся Ньютоном *«первотолчок»*.

Ломоносов был не только выдающимся и разносторонним учёным, но и страстным пропагандистом научных знаний. Он понимал необходимость обучения для народа, его грамотности, уделяя этому большое внимание и помня завет Петра I: *«…науки производить и оные распространять»*.

а *б*

Рис. 13. М. В. Ломоносов (1711-1765 гг.) (а)
и реконструкция аэродромической машины М. В. Ломоносова (б)
(экспозиция ГМИК им. К. Э. Циолковского)
(URL: http://tayni.info/; http://medviki.com/)

О Ломоносове гениальный поэт и философ А. С. Пушкин писал: *«Соединяя необыкновенную силу воли с необыкновенной силой понятия, Ломоносов объял все отрасли просвещения. Жажда науки была сильнейшею страстью его души. Историк, ритор, механик, химик, минералог, художник и стихотворец – он всё испытал и во всё проник»*.

Ломоносов – автор закона сохранения материи и движения, в 1748 г. писал Эйлеру: *«Все встречающиеся в природе изменения происходят так, что если к чему-либо нечто прибавилось, то это отнимается у чего-то другого. Так, сколько материи прибавляется к какому-либо телу, то столько же теряется у другого, сколько часов я затрачиваю на сон, столько же я отнимаю у бодрствования. Так как это всеобщий закон природы, то он распространяется и на правила движения: тело, которое своим толчком возбуждает*

другое к движению, столько же теряет от своего движения, столько же сообщает другому, двинутому им».

Вместе с Г. В. Рихманом Ломоносов проводил исследования в области электричества, в частности, атмосферного. С этой целью он использовал изобретенный Рихманом *«электрический указатель»*, который был прообразом электрометра. Разработал теорию образования атмосферного электричества, происхождение которого связывал с восходящими и нисходящими потоками воздуха. Ломоносов пытался создать общую теорию электрических явлений, суть которых он видел в движении эфира. Ломоносов мечтал написать грандиозную корпускулярную философию природы, которая объясняла бы все явления органической и неорганической природы с единой точки зрения. Он был более последовательным материалистом, чем Декарт и Ньютон, строго руководствуясь основной идеей: *«Природа крепко держится своих законов и всюду одинакова»*. В исследованиях Ломоносов широко использовал закон сохранения материи и движения. Природа, по Ломоносову, *«состоит в действии и противодействии»*. Своими воззрениями он стремился преодолеть метафизику и, прежде всего, отрыв материи от движения. Хотя под движением он понимал только механическое движение, но его высказывания, *«что тела не могут ни действовать, ни противодействовать взаимно без движения; природа тел состоит в движении и, следовательно, тела определяются движением»*, свидетельствует об огромной высоте, на которой стоял Ломоносов и в этом вопросе.

Ломоносов много сделал для развития науки, культуры и образования в России. В 1755 г. по инициативе и по проекту Ломоносова был открыт Московский университет, носящий ныне его имя. Он был основателем естествознания в России и при этом был не только выдающимся ученым, известным далеко за пределами России, но и человеком необычайно разносторонним. Очень трудно назвать такую отрасль науки, куда не проникали его интересы, где он не сказал своего собственного слова. Ломоносов занимался, как он сам говорил, искусствами (говоря современным языком, являлся прекрасным инженером), был талантливым поэтом и живописцем. Вот как характеризовал Ломоносова в 1772 г. известный просветитель Н. И. Новиков (1744-1818 гг.): *«Сей муж был великого разума, высокого духа и глубокого знания. Сколь отменна была его охота к наукам и ко всему человечеству полезным знаниям, столь мужественно и вступил он в путь к достижению желаемого им предмета»*. И далее: *«...нрав имел веселый, говорил коротко и остроумно и любил в разговорах употреблять острые шутки. Отечеству*

и друзьям своим он был верен, покровительствовал упражняющимся в словесных науках и ободрял их; в обхождении был он по большей части ласков, к искателям его милости щедр; но при всем при этом был горяч и вспыльчив».

Ученые, изобретатели, гениальные самоучки и механики продолжали работать над устройством и совершенствованием паровых машин, их применением, отталкиваясь от имеющихся уже представлений о теплоте.

Джеймс Уатт, английский механик, создал паровую машину двойного действия, рабочий ход поршня в ней производился не атмосферным давлением, а давлением пара (рис. 14).

а *б*

Рис. 14. Джеймс Уатт (1736-1819 гг.) (а) и его паровая машина (б)
(URL: http://www.bbc.co.uk/; http://www.trendir.org/james-watt-steam-engine.html)

В машине Уатта движущей силой стало не атмосферное давление, а упругость пара повышенного давления, приводящего в движение поршень. Новый принцип работы пара потребовал полного изменения в устройстве машины, особенно конструкции цилиндра и парораспределения. Для устранения конденсации пара в цилиндре Уатт впервые ввел паровую рубашку цилиндра, при помощи которой он стал обогревать его рабочие стенки паром, а наружную сторону паровой рубашки заизолировал. Поскольку Уатт для создания равномерного вращательного движения не мог в своей машине применить шатунно-кривошипный механизм, так как на такую передачу был взят охранный патент французским изобретателем Пикаром, то в 1781 г. он взял патент на пять способов преобразования качательного движения в непрерывно-вращательное. Для этой цели он применял планетарное, или солнечное, колесо. Также Уатт ввел

центробежный регулятор скорости для изменения количества подачи пара в цилиндр машины при изменении числа оборотов. Общий КПД машины составил 8%. Таким образом, Уатт в своей конструкции заложил основные принципы устройства и работы современной паровой машины.

Паровые машины Уатта работали на насыщенном паре низкого давления 0,2-0,3 МПа, при небольшом числе оборотов в минуту. Паровые машины, усовершенствованные таким образом, дали прекрасные результаты, понизив в несколько раз расход угля на лошадиную силу в час, по сравнению с машинами Ньюкомена, и вытеснили водяное колесо из горнорудной промышленности. Во второй половине XVIII в. устройство паровой машины было конструктивно отработано и она нашла широкое применение в промышленности. В честь Д. Уатта единица мощности была названа *«Ватт»*.

Д. Уатту выпало редкое счастье видеть повсеместное, триумфальное распространение своего главного изобретения жизни. На его памятнике в Вестминстерском аббатстве начертаны слова: *«...применив к усовершенствованию паровой машины силу творческого гения, расширил производительность своей страны, увеличил власть человека над природой и занял выдающееся место среди наиболее прославившихся людей науки и истинных благодетелей человечества»*.

Русский историк техники Николай Божерянов констатировал: *«Без преувеличения можно сказать, что все завоевания англичан в Индии меньше обогатили и усилили их, нежели открытия Д. Уатта»*.

В 1798 г. Бенджамин Томсон (1753-1814 гг.), ставший за научные труды графом Румфордом, доказал, что причиной выделения тепла, то есть возникновения тепловой энергии, при высверливании ствола является не теплород, а механическое перемещение сверла относительно ствола, сопровождаемое сильным трением. Кроме этого, он пришел к мысли, что теплота является формой движения. Научная мысль, крутившаяся по спирали от Демокрита до Ломоносова, вернулась на круги своя, обретя уже количественные характеристики процесса преобразования механической энергии в тепловую.

В России паровые машины начали строиться в Петербурге, на Галерном острове, а также на Олонецком и других заводах.

Американец Р. Фултон в 1803 г. установил паровой двигатель на судне, после чего такие суда стали называться пароходами.

В Петербурге с 1800 по 1825 гг. было изготовлено более 100 паровых машин заводских и 11 пароходных. Первый российский

пароход «Елизавета» совершал рейсы «Петербург – Кронштадт» начиная с 1815 г.

Черепанов Ефим Алексеевич вместе со своим сыном Мироном Ефимовичем (рис. 15, *а; б*), являясь механиками нижнетагильских заводов с 1820 по 1835 гг. построили 20 различных паровых машин, а в 1833 г. запустили первый в России паровоз (рис. 15, *в*).

а *б* *в*

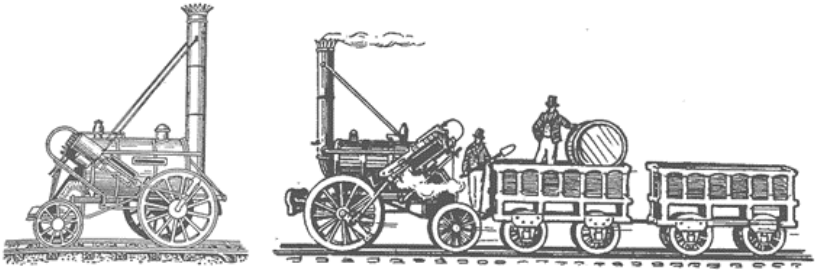
Рис. 15. Ефим Александрович Черепанов (1774-1842 гг.) (а) и Мирон Ефимович Черепанов (1803-1849 гг.) (б), паровоз Черепановых (в)
(URL: http://www.krasfun.ru/2014/08/cherepanovy/)

По своей конструкции первый русский паровоз превосходил общий уровень тогдашней паровой техники, так же как и рельсовая колея, сооруженная по образцу фроловских дорог, оказавшись в техническом отношении совершенней тогдашних существующих зарубежных магистралей. Предполагалось протянуть чугунные колесопроводы от Выйского завода к медно-рудянскому руднику, но этот не менее масштабный проект Черепановым не удалось завершить. Известие о нем появилось в седьмом номере «Горного журнала»: *«...Ныне гг. Черепановы устроили другой пароход большого размера, так что он может возить за собой до тысячи пуд тяжести... Почему и предположено ныне же продолжить чугунные колесопроводы от Нижнетагильского завода до самого медного рудника и употреблять пароход для перевозки медных руд из рудника на завод».*

Черепановские проекты были реализованы многими русскими механиками. В 1830-е годы для заводских нужд были построены паровозы в Приуралье и Карелии. Движение по первой железнодорожной магистрали (чугунному рельсовому пути) или как ее называли – «Царской ветке», открылось 11 ноября 1837 г., эта железная

дорога соединила Санкт-Петербург с Царским Селом и Павловском.

Талантливый английский изобретатель Джордж Стефенсон (1781-1848 гг.) в 1825 г. построил паровоз «Ракета» (рис. 16, *а*). Д. Стефенсон родился в рабочей семье, работал на угольных копях Ньюкасла, где работали его отец и дед. Занимаясь самообразованием, он изучал физику, механику и другие науки, интересовался изобретательской деятельностью.



А *б*

Рис. 16. Внешний вид паровозов, использовавших для привода паровую машину: паровоз Стефенсона «Ракета» (а) и локомотив Стефенсона на рельсовой дороге (б)
(URL: http://energetika.in.ua/ru/)

Выдающиеся способности Стефенсона привели его на должность механика, а в 1823 г. он был назначен главным инженером компании по строительству первой железной дороги общего пользования Стоктон – Дарлингтон и именно это открыло ему большие возможности для конструкторской и изобретательской работы.

«Ракета» была не первым паровозом, сконструированным и построенным Стефенсоном, но именно эта модель превосходила другие по многим показателям и была признана лучшим локомотивом (рис. 16, *б*) на специальной выставке в Рейхилле и рекомендована для новой железной дороги Ливерпуль – Манчестер, ставшей в то время образцовой. В 1823 г. Стефенсон организовал первый паровозостроительный завод в г. Ньюкасле. В 1829 г. в Англии был организован конкурс на лучший паровоз, победителем которого была признана машина Дж. Стефенсона. Его паровоз «Ракета», разработанный на основе дымогарного котла, при массе поезда 17 т развивал скорость 21 км/ч, а позднее скорость «Ракеты» была увеличена до 45 км/ч.

Создавались и изобретались различные конструкции паровых машин, что определяло необходимость появления теории как машин, так и теплоносителя.

Французский ученый Сади Карно (1796-1832 гг.) в 1824 г. разработал основы теории паровых машин – циклы Карно. Он установил, что, чем больше разность температур подводимого и отводимого тепла у теплоносителя, тем выше эффективность тепловой машины. Со времен С. Карно тепловые (паровые, газовые и др.) машины стали развиваться в направлении повышения параметров теплоносителя – температуры и давления. Этими вопросами успешно занимались Р. Стирлинг, Эриксон и другие.

1.3. История турбин и их роль в развитии энергетики

Водяные колеса и паровые двигатели совершенствовались, все больше интегрируясь в промышленность, но обладали довольно низким коэффициентом полезного действия и сравнительно небольшой мощностью. Поэтому требовалось создание машин с большим числом оборотов, большей мощностью и КПД. Такими машинами стали различные модификации водяных, паровых, а позднее и газовых турбин («турбо»-волчок).

Водяное колесо могло работать только при малых напорах воды, которыми обладали равнинные реки. Между тем громадные запасы гидравлической энергии были заключены в водных потоках со средними (8-25 м) и высокими (более 25 м) напорами. В этих условиях водяное колесо вообще не могло быть установлено. Единственная возможность для освоения энергии таких водных потоков заключалась в создании гидравлического двигателя, принципиально отличного от водяного колеса.

Водяные колеса приводились во вращение действием веса воды или ударом струи в лопасти. Но можно было использовать и другое физическое явление − силу реакции потока воды на лопастях рабочего колеса.

Толчком к развитию новых идей в области гидравлических двигателей явились труды Даниила Бернулли (1700-1782 гг.). В работе *«Гидродинамика»*, опубликованной в 1738 г., Бернулли обобщил ряд своих исследований по вопросам гидравлики и гидродинамики и вывел уравнение, устанавливающее связь между давлением и скоростью в каждой точке потока несжимаемой капельной жидкости:

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{\rho}{\gamma} + z = const \ ,$$

где υ – скорость движения жидкости; g – ускорение силы тяжести; ρ – давление в рассматриваемой точке потока; γ – удельный вес жидкости; z – удельная энергия положения.

В этом уравнении ($\upsilon^2/2g$) – удельная кинетическая энергия, т.е. энергия, отнесенная к единице веса; а ($\rho/\gamma + z$) – удельная потенциальная энергия, где (ρ/γ) – удельная энергия давления. Этим законом устанавливается постоянство энергии каждой частицы жидкости в потоке.

Уравнение Бернулли не только отражало закон сохранения и превращения энергии для частного случая гидравлической энергии, но и указывало на принципиальную возможность построения гидравлических двигателей двух разных классов: использующих либо кинетическую ($\upsilon^2/2g$), либо потенциальную ($z + \rho/\gamma$) составляющую полной энергии водного потока. Кроме того, Бернулли разработал теорию реактивного действия, возникающего при вытекании струи через отверстие, сделанное в стенке сосуда.

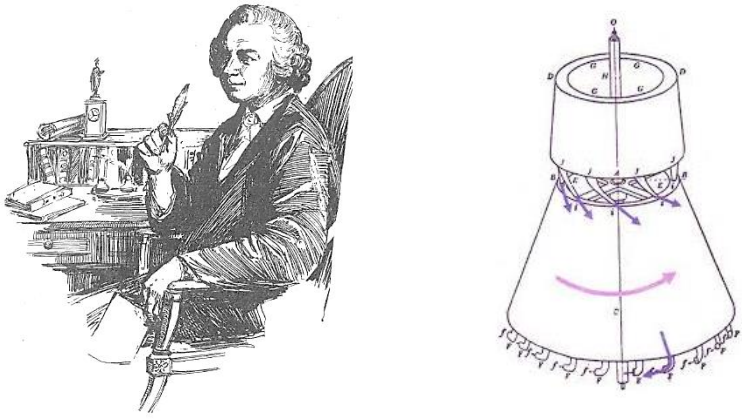
Практически сила реакции, создаваемая потоком воды на лопасти рабочего колеса, была использована впервые в 1745 г. английским механиком Д. Баркером, построившим реактивное колесо, а затем в 1747-1750 гг. – венгерским физиком Я. А. Сегнером, работавшим в Геттингенском университете. Сегнер создал прибор, который был назван сегнеровым колесом и явился прототипом реактивного гидравлического двигателя. Первоначально он построил цилиндр с двумя трубками для выпуска воды, а затем – с четырьмя. Последнюю из этих конструкций Сегнер пытался применить для вращения жернова, т.е. превратить этот прибор в двигатель, пригодный для энергоемкой работы. Однако недостаточное понимание сущности физических процессов, происходящих в таком двигателе, не позволило ученому рационально его усовершенствовать. Единичные экземпляры сегнеровых колес, простых и сдвоенных, применялись до середины XIX в.

Тем не менее в несовершенном реактивном двигателе Сегнера Л. Эйлер (рис. 17, *а*) усмотрел большие практические возможности. Уже в первом докладе, сделанном в Берлинской академии наук (1750 г.), Эйлер дал анализ процессов в сегнеровом колесе и указал, что низкий КПД – это следствие потерь энергии при входе и выходе воды из колеса. Эйлер показал, что, усовершенствовав сегнерово колесо (в основном за счет более рационального подвода и отвода

воды), можно использовать почти всю энергию воды, пропускаемой через колесо.

В последующих докладах ученого (1751-1754 гг.) были показаны преимущества сегнерова колеса перед другими гидравлическими машинами и изложена теория водяного реактивного двигателя.

На основе уравнений сохранения количества движения Эйлер вывел уравнение работы гидравлической турбины, которое нашло применение также в теории лопастных насосов, турбокомпрессоров и вентиляторов. Идея Эйлера о рациональной конструкции гидравлической турбины получила свое окончательное выражение в его предложении разделить гидравлическую машину нового типа на две части – неподвижную и вращающуюся. Через неподвижный направляющий аппарат вода поступает в нижнее вращающееся колесо, насаженное на вал и являющееся рабочим органом машины; рабочее колесо имело 20 коротких изогнутых труб для выхода воды. В таком виде гидравлический двигатель представлял собой переходную конструкцию от первоначальной формы сегнерова колеса к гидравлической турбине (рис. 17, *б*).



а *б*

Рис. 17. Леонард Эйлер (1707-1783 гг.) (а) и его гидравлическая турбина (б)
(URL: https://notescollector.eu)

Несмотря на полную научную и техническую обоснованность конструкции водяной турбины, предложенной Эйлером, в XVIII в. по экономическим причинам она не нашла практического примене-

ния и, возможно, даже не была опробована на практике (точных сведений нет). Лишь в 40-х гг. XX в. в Швейцарии, на родине Эйлера, была построена действующая модель турбины с некоторыми конструктивными дополнениями, которые устраняли разбрызгивание воды при выходе из направляющего аппарата. Испытания показали, что эта турбина имеет наибольший КПД (71,2%) при числе оборотов n = 180 об/мин. Оба эти показателя говорят о высоких качествах двигателя. Так, скорость вращения турбины Эйлера в десятки раз превосходила скорость колес, применявшихся в XVIII в.

В результате промышленного переворота в Европе появились разнообразные рабочие машины, скорость вращения которых превышала 100 об/мин, в то время как водяные колеса делали лишь 4-8 об/мин. Поэтому естественным было стремление использовать более быстроходные гидравлические двигатели в тех случаях, когда применение парового двигателя оказывалось невозможным.

Во многих странах ученые, исследователи, механики предлагали различные варианты конструкций турбин. Был даже объявлен конкурс на лучшую теорию и лучшую конструкцию турбины.

Б. Фурнейрон (1802-1867 гг.) сконструировал быстроходную турбину с подводом воды на лопатки радиально от центра турбины (рис. 18, *а*), которая получила широкое применение. Первый образец имел мощность 50-70 л. с., скорость вращения более 60 об/мин, КПД 70-80%. В начале 1836 г. турбину Фурнейрона установили на текстильной фабрике, оборудованной 450 станками.

а *б* *в*

Рис. 18. Турбина Фурнейрона (а), радиально-осевая турбина Френсиса (ее рабочее колесо) (б, в):

1 – направляющий аппарат; 2 – лопатки рабочего колеса; 3 – вал
(URL: http://energetika.in.ua/ru/; http://www.diagram.com.ua/)

В России, богатой реками и имевшей большое число предприятий, расположенных вблизи рек, проблема усовершенствования

гидравлического двигателя была особенно актуальной. Не случайным поэтому является то обстоятельство, что уже в 1837 г. на Алапаевском металлургическом заводе плотинным мастером И. Е. Сафоновым была построена первая водяная турбина (рис. 19) такого же типа, как турбина Фурнейрона. Через несколько лет такого рода водяные турбины были построены на Ирбитском и НейвоШайтанском заводах на Урале.

Сафонов и Фурнейрон создавали реактивные турбины приблизительно в одни и те же годы, но Сафонов работал совершенно самостоятельно, решая многие вопросы на основе собственного опыта, что нашло свое отражение в конструкциях его турбин.

Существенное отличие турбин от водяного колеса заключается в следующем. В турбине вода входит на одну кромку лопатки, проходит по лопатке и сходит с другой кромки, не меняя направления своего движения. В водяном колесе вода входит и выходит в одном и том же месте, совершая перемещение на лопатке в обратную сторону; вследствие этого как скорость, так и направление движения воды в некоторой точке лопатки различны в разные моменты времени. В турбине вода от входных до выходных кромок течет непрерывно и в каждой точке лопатки скорость ее одинакова по направлению и отличается только по величине. Так как вода имеет возможность поступать в рабочее колесо теоретически с любой скоростью, то турбина может, во-первых, применяться в широком диапазоне напоров и, во-вторых, развивать большее число оборотов. Кроме того, в турбине вода проходит одновременно по всем лопаткам рабочего колеса, а в водяном колесе − лишь по небольшой их части, что приводит к уменьшению размеров турбины по сравнению с водяным колесом. Меньшие размеры и вес турбины при большей скорости позволяют сделать всю конструкцию более компактной и упрощают передаточные механизмы.

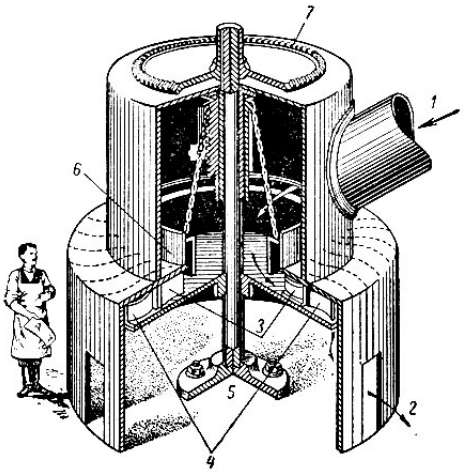


Рис. 19. Турбина Е. И. Сафонова:

1 – подвод воды; 2 – отвод воды; 3 – лопатки направляющего аппарата; 4 – рабочие лопатки; 5 – подпятник вала; 6 – кольцевая заслонка, регулирующая количество поступающей в турбину воды; 7 – коническая шестерня для передачи энергии машинам-орудиям
(URL: http://physiclib.ru/books/)

Хотя в XIX в. было построено довольно много водяных турбин разных конструкций, их можно классифицировать по отдельным признакам. Прежде всего водяные турбины делятся на два основных класса: реактивные и активные.

В реактивных турбинах вода заполняет все каналы между лопатками направляющего аппарата и рабочего колеса. Это так называемые полные или напорные турбины. Реактивные турбины способны работать при большем расходе воды. Так как мощность гидравлической турбины пропорциональна напору и расходу воды, такие турбины могут развивать значительную мощность при малых напорах за счет больших расходов и поэтому удобны для использования на равнинных реках.

В активных турбинах вода проходит через турбину свободно, не заполняя всего рабочего колеса или действуя на часть его, причем давление среды, окружающей воду в турбине, всюду одинаково. В турбинах этого класса передача энергии, приносимой потоком воды в рабочее колесо, осуществляется в основном за счет изменения кинетической энергии воды. Эти турбины называются также свободноструйными, они пригодны в условиях переменного и, в частности, малого количества воды, но при больших напорах.

Активные турбины могут действовать при одновременной работе не всех, а только части рабочих лопаток.

Водяные турбины могут быть либо с горизонтальным валом, на который насажено рабочее колесо, либо с валом вертикальным. В соответствии с этим различают турбины горизонтальные и вертикальные.

Наиболее естественным представляется размещение направляющего аппарата турбины над рабочим колесом. В таких турбинах движение воды будет происходить по цилиндрическим поверхностям, ось которых параллельна оси рабочего колеса; подвод воды также происходит в направлении, параллельном этой оси. Такие турбины называют осевыми или аксиальными реактивными. Первая турбина Фурнейрона имела подвод воды к рабочему колесу из направляющего аппарата в радиальном направлении, причем рабочее колесо охватывало направляющий аппарат. Такого типа турбины носят название радиальных или, как их иногда называли, центробежных (так как направление воды в турбине соответствует направлению центробежной силы); более правильное их наименование − турбины с внутренним радиальным подводом воды.

Более практичным оказался тип турбин с наружным радиальным подводом воды, так как при этом размеры вращающегося рабочего колеса получаются меньшими, удобнее применять отсасывающую трубу, можно видоизменять конструкцию рабочего колеса применительно к разным числам оборотов.

Значительное распространение получили реактивные турбины, в лопатках рабочего колеса которых вода претерпевает изменение радиального направления на осевое. Такие турбины называются радиально-осевыми; в них рабочее колесо турбины удобно сочетается с горизонтально расположенным направляющим аппаратом и вертикальной отсасывающей трубой.

Вскоре после радиальной реактивной турбины Фурнейрона был предложен ряд других реактивных турбин, среди которых наибольшее распространение получили турбины К. А. Геншеля (Германия, 1837 г.) и Н. Жонваля (Франция, 1843 г.). Обе эти турбины осевого типа, они сходны по конструкции и вошли в практику под наименованием турбин Геншеля – Жонваля. Такие турбины строились как горизонтальными, так и вертикальными. В них лопатки направляющего и рабочего колес имели форму винтообразно искривленных поверхностей, причем направления кривизны лопаток направляющего и рабочего колес противоположны. Турбина Геншеля – Жонваля имела новый рабочий орган – отсасывающую

(всасывающую) трубу, позволявшую использовать весь перепад уровней воды и повышавшую КПД.

Турбины Геншеля – Жонваля быстро вытеснили турбины Фурнейрона и строились разными заводами в течение всего XIX в. Наиболее распространены были турбины вертикального типа, наряду с одновенечными строились двух- и трехвенечные турбины. Были также сконструированы сдвоенные турбины этого же типа. После того как стала возможна передача электроэнергии на расстояние, были построены быстроходные турбины Геншеля – Жонваля, непосредственно соединявшиеся с электрическим генератором. В усовершенствовании этих турбин значительную роль сыграли русские машиностроители И. А. Тиме, В. И. Рожков, А. И. Пермяков и др.

В 1851 г. французским инженером П. Жираром была предложена конструкция активной осевой турбины. Наибольшее распространение во второй половине XIX в. получили радиально-осевые реактивные турбины. Американский конструктор Хауд в 1838 г. получил патент на радиальную турбину с внешним подводом воды (с центростремительным движением). Эта турбина была настолько существенно улучшена в 1849 г. американским инженером Д. Б. Френсисом (1815-1892), что стала называться турбиной Френсиса (рис. 18, *б; в*). В 1885 г. американский инженер Свейт придал этой турбине радиально-осевой характер.

После разработки радиально-осевой турбины оказалось возможным усовершенствовать гидравлическую турбину, используя:

а) поворотные лопатки в направляющем колесе. Таким образом направляющему аппарату придавались функции регулирующего органа; с радиально-осевыми турбинами с поворотными лопатками не могли конкурировать многие другие типы турбин (например, турбины Геншеля – Жонваля);

б) отсасывающую трубу, позволявшую отвести от рабочего колеса воду с наименьшими потерями;

в) спиральную камеру для подвода воды к направляющему аппарату, обеспечивавшую равномерный подвод воды ко всем точкам по окружности колеса с одинаковой скоростью и направлением.

Все это повышало КПД турбины.

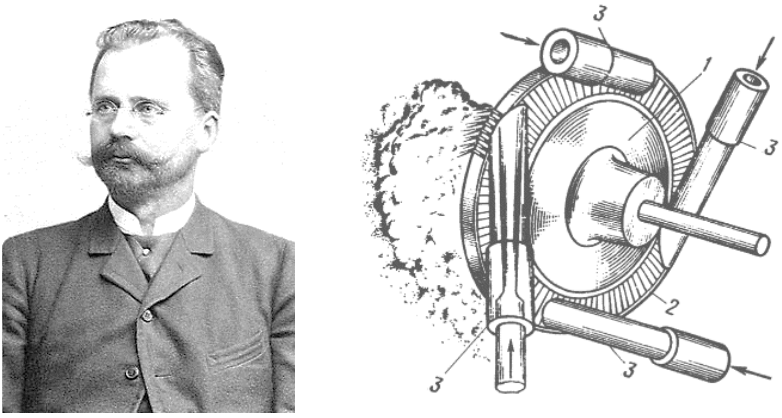
А. Пельтоном (1829-1908 гг.) была создана активная ковшовая турбина для больших напоров воды, которая отличалась простотой конструкции и удобством применения. Турбина не имела каналов. Струя воды воздействовала на ковшеобразные лопатки, укрепленные на рабочем колесе (поэтому турбину нередко называют ковшо-

вой). Мощность струи регулировалась сначала язычковым затвором, а затем особым шпинделем, входившим в сопло («иглой»). Ковш с безударным входом струи, предложенный Пельтоном, стал основой конструкции современных ковшовых турбин.

Жан-Викто́р Понселе (1788-1867 гг.) создал теорию турбин, и именно она послужила толчком к созданию новых типов машин. В 1838 г. в мемуарах *«К теории механического действия турбины Фурнейрона»* Понселе теоретически осмыслил и обобщил имеющиеся опытные и технические данные о турбинах, накопившиеся к тому времени. Эта работа послужила основой так называемой струйной теории турбин, господствовавшей при расчёте действия турбин вплоть до начала XX в. и исходившей из теоремы об изменении кинетической энергии.

Современные гидравлические турбины созданы на основе отбора и совершенствования турбин, построенных многими талантливыми изобретателями и конструкторами. Турбины вращались под действием движущейся воды. Затем появились паровые турбины, в которых использовался перегретый пар, подаваемый на лопатки турбин под повышенным давлением. Прообразом таких турбин был эолипил Герона Александрийского (рис. 6). Паровые турбины имели целый ряд преимуществ по сравнению с паровыми поршневыми машинами: быстроходность, равномерность вращения, экономичность. Появились идеи и конструкции целого ряда новых турбин.

Карл Густав Патрик де Лаваль (рис. 20, *а*) в 1889 г. построил паровую турбину активного типа (рис. 20, *б*), впервые применив расширяющиеся сопла, гибкий вал, диск равного сопротивления, что позволило достичь очень высоких окружных скоростей до 419 м/с. Также в турбинах Лаваля были предусмотрены многие новые элементы, часть из которых используется в современном турбостроении.



а *б*

Рис. 20. Карл Густав Патрик де Лаваль (1845-1913 гг.) (а) и турбина Лаваля (б):
1 – рабочий диск; 2 – лопатки; 3 – сопла
(URL: http://energetika.in.ua/ru/)

Турбина состояла из рабочего диска *1* небольшого диаметра с одним рядом рабочих лопаток *2*. Диск с рабочими лопатками размещался в кожухе, по окружности которого устанавливались расширяющиеся неподвижные сопла *3*, куда подавался из котла пар (рис. 18, *б*). В соплах происходило преобразование кинетической энергии в потенциальную. Турбина вращалась с огромной скоростью до 30000 об./мин, но малая мощность, высокое число оборотов, довольно большой расход пара (8-9 кг/кВт) ограничивали их применение в промышленности, поэтому они в основном использовались для привода маломощных агрегатов.

Лаваль разработал также теорию сопла. Вследствие ряда конструктивных недостатков и относительно небольшой мощности турбины Лаваля не получили распространения, но сыграли важную роль в развитии турбостроения.

Для уменьшения окружной скорости рабочих лопаток турбин американский инженер Ч. Кертис в 1896 г. ввел в практику турбостроения ступени скорости. Принцип ступеней скорости состоит в том, что кинетическая энергия пара преобразуется в механическую на рабочих лопатках не одного ряда, а 2-3 рядов, между которыми стоят неподвижные лопатки для изменения направления движения пара. Активные турбины со ступенями скорости позволяют уменьшить окружную скорость, имея правда низкий КПД, который с увеличением числа ступеней снижается. Поэтому диск Кертиса

сохранился в современных турбинах только как первый диск турбины.

Ч. Парсонс (1854-1931 гг.) изобрел многоступенчатую осевую реактивную турбину большой мощности с особыми группами лопаток – подвижными и неподвижными. Такая конструкция была более удачной и получила дальнейшее развитие в работах конструкторов многих стран – Франции, Англии, России, Америки и др. Дальнейшее развитие паровых турбин было связано помимо прочего с повышением температуры пара.

Паровые машины и турбины требовали устройства, в котором были бы топка, котел, охлаждающий агрегат. Все они выполняли свое назначение, однако, были очень громоздки и неудобны в эксплуатации.

1.4. Двигатель внутреннего сгорания и его влияние на развитие энергетики

В конце XVII в. появилась идея создания двигателя внутреннего сгорания (ДВС), который не нуждался бы в котле и топке, так как газообразное рабочее тело получало бы энергию от сжигания топлива внутри рабочего цилиндра.

В двигателях внутреннего сгорания главная часть – цилиндр с поршнем, на который давит не пар, а раскаленный сжатый газ, образовавшийся в результате сжигания топлива внутри цилиндра, отсюда и название ДВС – двигатель внутреннего сгорания. В основе первой попытки создания ДВС легла идея Х. Гюйгенса (1629-1695 гг.) о пороховой машине. Однако она не была построена, так как в то время еще не было подходящего топлива. В последующие годы было разработано много моделей различных ДВС, но все они по тем или иным причинам не были реализованы.

Французский механик Этьенн Ленуар (1822-1900 гг.) изобрел горизонтальный двигатель внутреннего сгорания двойного действия (рис. 21).

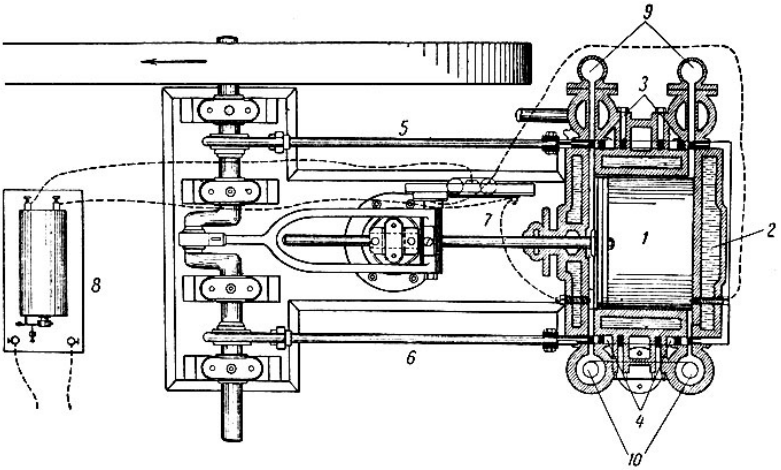


Рис. 21. Газовый двигатель Ленуара (1860 г.):
1 – цилиндр; 2 – охлаждающая цилиндр водяная рубашка; 3 – впускные золотники; 4 – выпускные золотники; 5 – распределительная тяга впуска; 6 – тяга выпуска; 7 – распределительный диск моментов зажигания; 8 – индукционная катушка; 9 – подача газа; 10 – выхлоп отработавших газов (URL: http://physiclib.ru/books/)

Двигатель Ленуара по конструктивным формам почти ничем не отличался от паровой машины: цилиндр, поршень, шатунно-кри-

вошипный механизм, передающий движение поршня на вал двигателя, коленчатый вал с маховиком и даже золотники, которые в данном случае в отличие от паровой машины распределяли по полостям цилиндра не пар, а смесь светильного газа с воздухом и выпускали в атмосферу продукты сгорания.

Сведения о двигателе Ленуара вызвали громадный отклик в печати. Ряд статей поспешно «хоронил» паровую машину и вместе с нею и крупный капитал, предсказывая наступление эры децентрализации в промышленности.

Испытания машины Ленуара показали, что ее экономичность была исключительно низкой. КПД двигателя достигал величины 3,3%, тогда как современные ему паровые машины уже работали с КПД, достигавшим величины 8-10%. Тем не менее свыше 5000 двигателей Ленуара получили свое применение в мелких мастерских, хотя и не предотвратили неизбежного разорения их хозяев крупным капиталом.

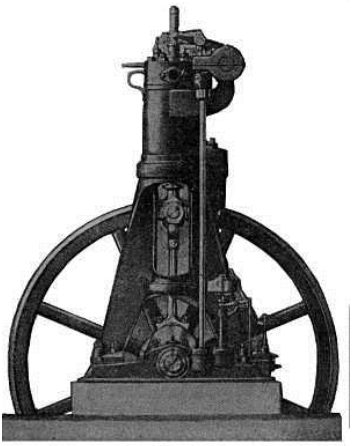
Этот двигатель получил довольно высокое распространение, хотя был далек от совершенства и требовал серьезных доработок.

В 1862 г. французский инженер Бо де Роша выпустил в свет небольшую брошюру *«Новейшие исследования относительно практических условий применения теплоты»*, в которой отчетливо изложил впервые так называемый четырехтактный цикл работы двигателя со следующими последовательными тактами: 1) засасывание в полость горючей смеси – первый ход поршня; 2) сжатие горючей смеси – второй ход поршня; 3) зажигание смеси, горение – третий ход поршня; 4) выбрасывание продуктов сгорания – четвертый ход поршня.

Первый четырёхтактный двигатель внутреннего сгорания был построен немцем Николаем Отто в 1876 г., который впоследствии был усовершенствован русским инженером О. Костовичем, разработавшим карбюратор для сжигания легких фракций продуктов перегонки нефти. Этими же вопросами занимались и немецкие изобретатели, основатели концерна «Мерседес» – Даймлер и Бенц.

Немецкий инженер Рудольф Дизель (рис. 22, *а*) разработал ДВС на тяжелом топливе – мазуте, соляровом масле. Работал он по принципу самовоспламенения. ДВС, работающие по принципу самовоспламенения топлива в цилиндре, называются дизельными, по имени их изобретателя. Первый дизель-мотор был изготовлен в 1897 г., он содержал все основные элементы современного мотора, являлся самым экономичным из ДВС.

а



б

Рис. 22. Рудольф Дизель (1858-1913 гг.) (а) и один из вариантов его первых рабочих двигателей (б)
(URL: http://autohis.ru/rudolfdizel.php; http://www.thinglink.com/)

Двигатель Дизеля был четырёхтактным. Изобретатель установил, что КПД двигателя внутреннего сгорания повышается от увеличения степени сжатия горючей смеси. Но сильно сжимать горючую смесь нельзя, потому что тогда повышаются давление и температура, из-за чего она самовоспламеняется раньше времени. И поэтому Р. Дизель решил сжимать не горючую смесь, а чистый воздух. К концу сжатия воздуха в цилиндр постепенно под сильным давлением впрыскивалось жидкое топливо. Так как температура сжатого воздуха достигала 600-650°С, топливо самовоспламенялось, и газы, расширяясь, двигали поршень. Таким образом, Рудольфу Дизелю удалось значительно повысить КПД двигателя. К тому же здесь не нужна была система зажигания, а вместо карбюратора работал топливный насос.

Действительное преимущество дизелей заключалось не в отличии их рабочего процесса, а в возможности получить высокие степени сжатия, неосуществимые в двигателях быстрого сгорания из-за низкой температуры самовоспламенения жидких сортов топлива. Рабочий процесс в дизелях проводился при степени сжатия 14-16 против 5-6 в двигателях быстрого сгорания, что повысило КПД компрессорных дизелей до 28-32%, бескомпрессорных – до 30-34%.

После демонстрации на Парижской выставке 1900 года усовершенствованного двигателя Дизеля, где он получил высокую оценку, начался процесс бурного дизелестроения.

Густав Васильевич Тринклер (1876-1957 гг.) – инженер Путиловского завода, усовершенствовал процесс сжигания топлива, создал в 1898 г. двигатель со смешанным сгоранием, и с начала XX в. – завод Нобеля, так называемый «Русский дизель», стал выпускать в России дизельные моторы. Выпускаемые заводом нефтяные дизели оказались вполне надежными в работе благодаря применению двухступенчатого компрессора и усовершенствованной нефтяной форсунки. Дизели завода «Русский дизель» получили впоследствии всеобщее признание и широко использовались в промышленности и на транспорте.

В торговом и на военном флоте дизели впервые были применены в России. Первая в мире судовая дизельная установка, состоящая из трех дизелей завода «Русский дизель» мощностью по 120 л.с., была смонтирована в 1903 г. на нефтетопливной барже «Вандал». А первый реверсивный дизель был построен этим же заводом в 1908 году для подводной лодки «Минога» мощностью 120 л.с. Перед Первой мировой войной дизельные двигатели производились не только в Петербурге, но и в Москве, Сормове, Риге, Ревеле, Воронеже и других городах.

Большой вклад в усовершенствование дизельных двигателей внесли русские изобретатели. Б.Г. Луцкой (1865-1920 гг.) спроектировал и построил многоцилиндровые двигатели различного назначения – автомобильные, авиационные, судовые, лодочные. В 1910 г. Р. А. Корейво (1852-1920 гг.) сконструировал дизельный двигатель с противоположно движущимися поршнями и передачей на два вала, в том же году А. Г. Уфимцев (1880-1936 гг.) разработал шестицилиндровый карбюраторный двигатель для самолетов.

Двигатели внутреннего сгорания после значительных конструктивных изменений стали в XX в. основными двигателями всех транспортных средств. Большой вклад в развитие энергетики, создание двигателей, работающих на органическом топливе, внесли ученые, открывшие и разработавшие законы и теорию различных процессов в области химии и физики.

Дмитрий Иванович Менделеев (рис. 23, *а*) – выдающийся русский ученый, автор фундаментального периодического закона химических элементов, открытие которого способствовало развитию химии, атомной и ядерной физики (рис. 23, *б*).

а *б*

Рис. 23. Дмитрий Иванович Менделеев (1834-1907 гг.) (а) и его периодическая таблица элементов (б)
(URL: https://www.litres.ru/dmitriy-mendeleev/)

Работы многих ученых, исследователей, экспериментаторов способствовали развитию прогресса, промышленности, энергетики.

Д. И. Менделеев разработал теорию горения топлива, которая позволяла определить теплотворную способность топлив различного состава, выбрать оптимальные режимы горения и многое другое. Помимо этого, Менделеев разработал промышленные способы разделения нефти по фракциям – бензин, керосин, мазут, открыл и сформулировал положение о критическом состоянии вещества и многое другое. Он был разносторонним ученым, патриотом своей страны, пропагандистом научных открытий, профессором Петербургского университета и других учреждений. Учебник Д. И. Менделеева *«Основы химии»* (1868 г.) переиздавался много раз и является одним из лучших учебников по химии.

В XX в. появляются турбореактивный двигатель и газовая турбина. Начало развитию таких двигателей положил англичанин Д. Барбер еще в 1791 г., когда получил патент на тепловой двигатель, в котором продукты сгорания смеси воздуха и газа подавались на лопатки турбины.

Первый работающий газотурбинный двигатель был сконструирован и испытан в 1897 г. русским изобретателем инженером П. Д. Кузьминским (1840-1900 гг.), топливом для этого двигателя служил керосин. В этом же году им была построена газопаровая турбина с постоянным давлением сгорания.

Работы по созданию турбореактивных двигателей, газовых турбин велись в Германии (Штольце), в США (Мосс), во Франции (Арменго), в России (Н. Герасимов, В.И. Базаров и др.).

Однако строительство подобного рода двигателей и их длительная работа требовали использования жаропрочных материалов и разработки теории газовых турбин. Этими вопросами, а также созданием высокоэффективного компрессора, необходимого для этих двигателей, занимались в Англии, Германии (фирма Хейнкеля), Советском Союзе (А. А. Саблуков, Б. С. Стечкин), Франции, Италии, Швейцарии и других странах.

Газотурбинные двигатели нашли себе широкое применение в авиации, на парогазовых электростанциях и др.

После того как были изобретены различного рода двигатели – ветровые, водяные, паровые, турбореактивные, внутреннего сгорания – встал вопрос о передаче энергии на расстояние. При этом придумывали самые разные варианты технической реализации: с помощью ременных передач (с помощью ремней); гидравлически (с помощью жидкости) и пневматически (с помощью воздуха, газов). Все они могли передавать энергию, но на небольшие расстояния и со значительными потерями. Развитие промышленности, строительство фабрик, заводов, рост крупных городов требовали все большей энергии и передачи ее на дальние расстояния.

Важнейшим этапом в развитии энергетической базы промышленности, сельского хозяйства, бытовых удобств явилось изобретение и применение электрических двигателей.

Электрические двигатели удобнее и надежнее многих других двигателей – паровых, ветряных, водяных. Они всегда готовы к работе, могут управляться на расстоянии, позволяют регулировать скорость и т.п.

Благодаря электрическим двигателям в промышленности и быту у населения появились высокопроизводительные машины, станки, заводы-автоматы, электрифицированный инструмент, электрический транспорт (электропоезда, трамваи, троллейбусы), бытовые приборы (холодильники, стиральные машины, швейные машины) и многое другое.

Открытие электричества и использование электрической энергии было одним из величайших событий. Этому предшествовали усилия многих и многих людей, начиная с древних времен и до наших дней. Для передачи энергии на большие расстояния и распределения ее между потребителями самой удобной является именно электрическая энергия.

Считается, что полезной электрической энергии в природе нет, хотя существуют такие электрические атмосферные явления, как молнии, северные сияния, имеют электрические заряды некоторые морские обитатели, например, электрический угорь, электрический скат.

Энергия движущейся воды, ветра, энергия топлива, производящего пар и газы, использовалась уже давно и продолжает использоваться человеком. Совершенствуются установки, устройства, двигатели, но увеличивается и энергопотребление. Этим обусловлены необходимость совершенствования методов использования энергоисточников и поиск новых возобновляемых природой источников.

Контрольные вопросы

1. Первые двигатели искусственно созданные руками человека.
2. Первые двигатели, используемые человеком несколько тысячелетий тому назад.
3. Древние мыслители и изобретатели прообразов современных двигателей, их работы.
4. Первые изобретатели паровых машин.
5. Работы М. В. Ломоносова и их значение для мировой науки.
6. Эволюция конструкций паровых машин, двигателей.
7. Первые паровозы, их изобретатели, особенности конструкции.
8. Первые изобретатели паровых и газовых турбин.
9. Родоначальники теории паровых машин.
10. Паровая турбина и этапы ее исторического совершенствования.
11. Работы Д. И. Менделеева и их значение.
12. Изобретатели и разработчики двигателей внутреннего сгорания.

2. ИСТОРИЯ ПЕРВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ОТКРЫТИЙ: ОТ ПРИРОДЫ ВЕЩЕЙ ДО ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ЗАКОНОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Применение электричества и использование электроэнергии было самым великим открытием XIX в. Следует заметить, что электрическая энергия является вторичной энергией и не заменяет первичную – тепловую, гидравлическую, водяную и др.

Электричество является очень концентрированной энергией, так, например: 1 кВт·ч = 1000 (Дж/с)·3600 (с) = 3600000 Дж или 1 кВт·ч = 102 (кг·м/с)·3600 (с) = 367000 кг·м, что эквивалентно поднятию 367 т груза на высоту один метр.

Становление и развитие электроэнергетики носит интернациональный характер, в этом легко убедиться на протяжении всей истории ее развития. В создании энергетики и ее внедрении принимали и принимают посильное участие люди самых разных национальностей, разных стран, разных классов.

Например, первые открытия, научные и практические разработки, законы в электроэнергетике явились вкладом итальянцев, англичан, русских, французов, американцев, венгров, бельгийцев, югославов, датчан и других естествоиспытателей, исследователей и ученых, в чем можно убедиться, рассматривая историю развития электроэнергетики.

Широкое и разнообразное применение электроэнергии во всех областях народного хозяйства и быта объясняется рядом весьма существенных преимуществ ее по сравнению с другими формами энергии, а именно: 1) возможностью экономичной передачи на значительные расстояния; 2) простотой преобразования в другие формы энергии; 3) простотой распределения любой мощности, от многих киловатт до микроватт, между любым числом потребителей.

Большое значение имеет возможность использования для производства электроэнергии местных видов топлива (угля, торфа, сланца), энергии рек, водопадов, приливов, солнечной энергии и энергии ветра, геотермальной, атомной и др.

2.1. История открытий в электротехнике и электроэнергетике

Открытие и применение электричества было одним из величайших достижений человечества. Этому предшествовали усилия многих и многих людей разных профессий в разные эпохи.

В античной Греции на стыке VII-VI в. до н.э. купец, философ и ученый Фалес Милетский натирал меховой шкуркой кусок окаменевшей смолы – янтарь и заметил, что после этого он получал способность притягивать к себе различные легкие предметы: перо птицы, сухие листочки и т.п.

Спустя много столетий элементарную заряженную частичку, несущую единичный электрический заряд, стали называть электрон (по-гречески – янтарь).

В V в. до н.э. вблизи древнего города Магнезия (территория современной Турции) находили удивительные путеводные продолговатые камни. Они, подвешенные на длинных нитях, всегда указывали одно направление. Это были куски магнитной руды, которая впоследствии получила свое название в честь города, где была найдена.

Письменное свидетельство знакомства человека с магнитными свойствами некоторых материалов находим в замечательной поэме *«О природе вещей»*, написанной Титом Лукрецием Каром в I веке до н.э.:

Также бывает, что попеременно порода железа
Может от камня отскакивать или к нему привлекаться.
Также и то наблюдал я, как прыгают в медном сосуде
Самофракийские кольца железные или опилки
В случае, если под этим сосудом есть камень магнитный.

Первые сведения о применении электричества для металлизации сосудов относятся к III в. до н.э. Использовались электроды из меди и железа, а электролитом являлось вино. Электродвижущая сила такого химического источника электричества достигала примерно 0,8 В.

Потом эти открытия были частично или полностью утеряны (забыты), человечеству пришлось их изобретать и открывать заново.

Основоположником науки о магнетизме является англичанин Уильям Гильберт (рис. 24), который родился в г. Колгстере, учился в Кембридже и Оксфорде, после чего стал придворным врачом ко-

ролевы Елизаветы. В сочинении под названием *«О магните, магнитных телах и большом магните – Земле...»* он описал более 600 своих опытов и исследований магнитных и электрических явлений, а также построил впервые концепции электричества и магнетизма. Гильберт установил, что магнит всегда имеет два полюса – северный и южный, и если распилить магнит, то никогда нельзя получить магнит с одним только полюсом; что одноименные полюса отталкиваются, а разноименные притягиваются; что железные предметы под влиянием магнита приобретают магнитные свойства (магнитная индукция); обнаружил явление усиления природного магнетизма с помощью железной арматуры. Изучая магнитные свойства намагниченного шара с помощью магнитной стрелки, ученый пришел к выводу, что они соответствуют магнитным свойствам Земли, то есть последняя является большим магнитом, и, исходя из этого, объяснил наклонение магнитной стрелки.

Рис. 24. Уильям Гильберт (1554-1603 гг.)
(URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/)

У. Гильберт является основоположником науки об электричестве. До 1600 года учение об электрических явлениях оставалось практически на уровне знаний Фалеса Милетского, открывшего электрические свойства натертого янтаря. Благодаря Гильберту учение об электричестве обогатилось рядом открытий, наблюдений, приборов. С помощью своего «версора», первого электроскопа, он показал, что способностью притягивать легкие тела (соломинки) обладают не только натертый янтарь, но и алмаз, сапфир и другие тела, которые он назвал электрическими. После исследований Гильберта электрические и магнитные явления изучались очень медленно, и на протяжении более чем 100 лет почти не было сделано других открытий.

Самой значительной заслугой Гильберта явился тот факт, что он впервые в истории, до Бекона, считавшегося родоначальником «индуктивного» метода в науке, провозгласил опыт критерием истины и все положения проверял в процессе специально поставленных экспериментов. Понятие об эксперименте как основе исследования было в то время неизвестно, признавалась же лишь аристотелевская созерцательная наука. Написать в те времена трактат об электричестве и магнетизме, да еще утверждать, что Земля – магнит, проверив все теоретические построения на опыте и исходить из него – это было действительно научным подвигом.

Изготовив из магнитного железняка шар *«терреллу»* (землицу), Гильберт заметил, что этот шар по магнитным свойствам очень напоминает Землю. У *«терреллы»* так же, как и у *«терры»* (Земли), оказались северный и южный полюсы, экватор, изолинии, магнитное наклонение. Это позволило Гильберту провозгласить Землю *«большим магнитом»*.

До Гильберта о магнетизме Земли никто не подозревал и притяжение южного черного конца магнитной стрелки к северному полюсу Земли объяснялось в середине века тем, что «железо» направляется к северным звездам, так как ему сообщена сила полярных звезд, подобно тому, как за солнцем следуют растения, например подсолнечник. Кроме факта магнетизма Гильберт сделал гениальную догадку о том, что действие магнита распространяется подобно свету.

Гильберт много сделал и открыл, но почти ничего не смог объяснить. Все его объяснения носили схоластический и наивный характер, так например, его разъяснение относительно природы магнетизма сводится к тому, что всему причиной является душа магнита.

Заслуга Гильберта – в выяснении «взаимоотношений» между магнитом и электричеством. Само слово «электричество» введено в науку именно Гильбертом, так, в его книге *«О магните»* впервые встречается слово «электрический»: *«Электрические тела – те, которые притягивают таким образом, как и янтарь»*.

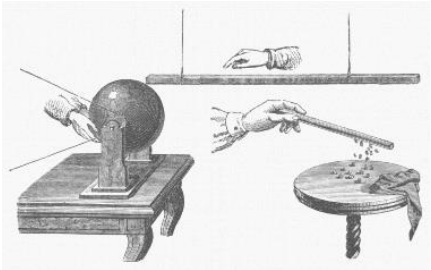
Гильберт отделил электрические явления от магнитных: он пришел к выводу, что притяжение магнита и янтаря имеет разную природу. Таким образом, Гильберт разделил магнитные и электрические явления на два класса, которые стали исследоваться отдельно. Более чем через 200 лет усилиями многих ученых они снова будут воссоединены, но уже на новой основе.

Гильберт открыл магнитное поле Земли, а использование земного магнетизма в целях навигации (компас) было первым в истории цивилизации практическим применением магнитных свойств. И хотя строгие критерии оценки важности изобретений, к сожалению, отсутствуют, по-видимому, все согласятся, что компас – свободно вращающаяся магнитная стрелка – одно из важнейших человеческих изобретений.

Толченый магнит у средневековых лекарей считался сильным слабительным. Может быть, экскурсы Гильберта в природу магнетизма и были порождены желанием узнать, является ли магнит лекарством или нет.

Первым источником электроэнергии уже нашей эры стал электростатический генератор (трибоэлектрический), изобретенный в 1663 году мэром Магдебурга Отто фон Герике (рис. 8). Конструкция первой машины для получения электричества описана им в сочинении *«Новые, так называемые магдебургские, опыты о пустом пространстве»* (1672 г.).

Стеклянный шар он заливал серой, а затем отбиванием удалял стекло. Получившийся шар из серы он снабжал деревянной осью с подшипниками (рис. 25, *а*). С помощью шнурка шар мог быть приведен в быстрое вращение. При трении шара о приложенную к нему руку между ним и свободно подвешенным перед ним металлическим стержнем проскакивали маленькие искорки. Стержень являлся проводником (кондуктором) и мог отдавать свой заряд руке или другим близко находящимся предметам. Мощность шара была менее 1 Вт. Первая электрическая машина трения Отто фон Герике и иллюстрация действия притягивающей силы электричества показаны на рисунке 25*б*.



а *б*

Рис. 25. Оригинальные магдебургские полушария Отто фон Герике (а) и его первая электрическая машина трения (б)
(URL: http://chemistry-chemists.com/; htm http://energetika.in.ua/ru/)

Позднее в 1675 г. Исаак Ньютон описал явление электризации тел.

Возникает впечатление, что XVII в. немногим отметился в развитии науки об электричестве, но именно тогда был заложен ее фундамент и дан мощный импульс к разнообразным исследованиям электрических явлений следующих столетий.

Ф. Хауксби в 1705 г. создал электрический генератор, используя вместо серного шара стеклянный, а уже в 1743 г. в эту машину был введен скользящий контакт, который снимал заряд, и машина могла при вращении непрерывно отдавать электрическую энергию.

С. Грей в 1729 г. заметил, что одни вещества проводят электричество, а другие нет. Кроме этого он же сделал ещё одно очень важное открытие, значение которого было понято гораздо позже. Все знали, что если прикоснуться изолированным металлическим цилиндриком к наэлектризованной стеклянной палочке, то на него также перейдет электричество. Однако оказалось, что можно наэлектризовать цилиндрик, не касаясь стеклянной палочки, а только приблизив его к ней. Пока цилиндрик будет находиться вблизи наэлектризованной палочки, на нем обнаруживается электричество.

Опубликованные опыты Грея вызвали интерес у французского физика Шарля Франсуа Дюфе (1698-1739 гг.) и побудили его приняться за эксперименты в области изучения электричества. Опыты с первым электрическим маятником, то есть с деревянным шариком, подвешенным на тонкой шелковой нити, проведенные около 1730 года, показали, что такой шарик притягивается натертой палочкой сургуча. Но лишь стоит коснуться ее, как шарик немедленно отталкивается от сургучной палочки, как будто избегая ее. Если затем поднести к шарику стеклянную трубку, потертую об амальгамированную кожу, то шарик будет притягиваться к стеклянной трубке и отталкиваться от сургучной палочки. Это различие, впервые отмеченное Шарлем Дюфе, привело его к открытию, что наэлектризованные тела притягивают ненаэлектризованные, и как только последние посредством прикосновения наэлектризуются, они начинают отталкиваться друг от друга. Это наблюдение позволило установить явление наличия двух противоположных родов

электричества, которые он назвал стеклянным и смоляным электричеством. Ещё было замечено, что первое обнаруживается на стекле, драгоценных камнях, волосах, шерсти и т.д., в то время как второе возникает на янтаре, смоле, шелке и т.д. Дальнейшие исследования показали, что все тела электризуются либо как стекло, потертое о кожу, либо как смола, потертая о мех. Следовательно, имеются два вида электрических зарядов, причем однородные заряды отталкиваются друг от друга, а разнородные притягиваются. Силы взаимодействия электрических зарядов, проявляющиеся в притяжении или отталкивании, стали называть электрическими. То есть электрические силы создаются электрическими зарядами и действуют на заряженные тела или частицы. Шарль Дюфе высказал гипотезу о двух родах электричества: получаемое при натирании стекла, кварца, шерсти он назвал *«стеклянным»*, а от натирания смолы или янтаря – *«смоляным»*. При этом *«тело, наэлектризованное стеклянным электричеством, отталкивает все тела со стеклянным электричеством, и обратно оно притягивает все тела со смоляным электричеством»*.

Шарль Дюфе был первым ученым, извлекавшим электрические искры из наэлектризованного человеческого тела, находившегося на изолированной подставке. Этот опыт в то время был настолько новым и оригинальным, что аббат Жан Нолле (1700-1770 гг.), тоже занимавшийся изучением электрических явлений, был приведен в ужас, когда впервые его увидел.

В середине XVIII в. в Лейдене была создана *«лейденская банка»* – прообраз электрического конденсатора. Открытие этого конденсатора принадлежит голландскому профессору из Лейдена Питеру ван Мушенбруку и немецкому священнику фон Клейсту. Заряжалась *«лейденская банка»* с помощью серного шара фон Герике, а представляла она собой стеклянную банку с остатками ртути на внутренней поверхности. Через пробку в нее вставлялся гвоздь, а снаружи банка обертывалась металлической фольгой. Гвоздь и фольга служили электродами, а стекло (диэлектрик) накапливало заряд от серного шара Герике.

Опыт с заряженной *«лейденской банкой»* демонстрировался в присутствии большого скопления народа на площади во Франции, 180 гвардейцев короля становились в круг, взявшись за руки. Один из гвардейцев притрагивался к фольге *«лейденской банки»*, а последний в цепи притрагивался к металлическому стержню. По всей цепи гвардейцев мгновенно протекал ток, и все люди получали электрический удар, который тут же вызывал реакцию людей –

вскрики, прыжки, взмахи рук и т.п. Ученые регистрировали воздействие электричества на человека, проводимость человеческого тела, а также электрический удар. Так появился термин *«электрическая цепь»*.

Пытаясь зарядить *«лейденскую банку»* от небесного электричества – молнии, в 1753 г. погиб Г. В. Рихман – товарищ М. В. Ломоносова.

Георг Вильгельм Рихман родился в г. Пярну (Эстония), учился в Ревеле, Галле, Иене. С 1735 г. являлся студентом *«физического»* класса при Петербургской академии наук, а с 1741 г. там же – профессором кафедры физики.

М. В. Ломоносов и Г. В. Рихман изучали электрические атмосферные явления, для чего строили *«грозовые машины»*, которые представляли по своей сути конденсатор («лейденская банка»), заряжавшийся под действием атмосферного электричества.

Г. В. Рихман обратил внимание на сходство электрических явлений в атмосфере и в лабораторных условиях. Ему принадлежит работа *«Рассуждения, утвержденные на опыте, о сходстве искусственного электричества с электричеством естественным, порожденным молнией, и о способе отвода молнии»*.

Г. В. Рихман первым поставил и в 1753 г. решил, на уровне того времени, задачу электрических измерений. Он создал первый электрометр, в котором льняная нить отклонялась от металлического стержня и фиксировался угол отклонения, тем самым выполняя роль простейшего указателя электричества. При проведении опытов и анализе полученных результатов Рихман старался давать явлениям не только качественные, но и количественные оценки.

В то время все явления приходилось описывать лишь качественно. Так, М. В. Ломоносов разработал своеобразную шкалу качественной оценки электричества: *«синеватые искры»*, *«ясные синеватые»*, *«весьма красные»*, *«вишневые»*. Такой способ оценки *«силы электричества»* не годился. Электричеству для его дальнейшего изучения нужна была уже количественная оценка – число. Поэтому можно говорить о том, что величайшей исторической заслугой Г. В. Рихмана явилось то, что он был одним из первых, кто превратил электричество в точную науку.

Он создал первый калориметр и подошел к понятию электрической емкости: *«Электричество распределяется не пропорционально массам, а скорее пропорционально поверхностям, ибо к большей поверхности может приставать большее количество возмущенной электрической материи, чем к меньшим»*.

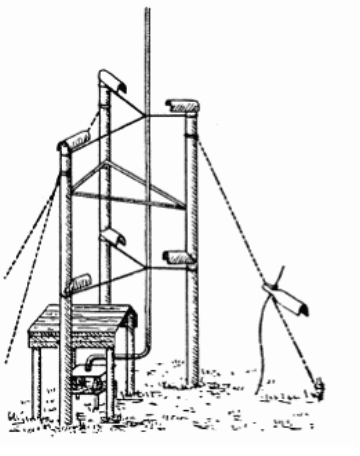
Ломоносов в 1753 г. поставил перед учеными задачу: *«… сыскать подлинную электрической силы причину и составить ее точную теорию»*.

Гипотезы М. В. Ломоносова и Г. В. Рихмана, а еще ранее английских ученых Уолла и Исаака Ньютона о сходстве атмосферного и статического электричества были подтверждены опытами американского ученого Бенджамина Франклина и экспериментальными исследованиями Ломоносова и Рихмана; 26 ноября 1753 г. Ломоносов изложил свои наблюдения в речи, прочитанной в Академии наук: *«Слово о явлениях воздушных от электрических сил происходящих»*. Он предложил теорию возникновения грозы от образования электрических зарядов между восходящими и нисходящими потоками воздуха, сделав это раньше, чем Майкл Фарадей и Джеймс Клерк Максвелл, и при этом Михаил Васильевич указал на связь световых и электрических явлений. Рассматривая свечение воздуха, вызванное электрическими разрядами при пониженном давлении, он высказал мысль об электрической природе северного сияния. Ему же принадлежит мысль о возможности передачи электричества на большие расстояния и о практическом использовании электричества для металлизации поверхности металлов (1747 г.). Изучая вместе с Рихманом грозовые явления, Ломоносов указал на необходимость громоотводов. Г. В. Рихман был первым ученым, погибшим при проведении исследований в области электротехники.

На первых порах Российская академия наук пригласила ряд ученых, заложивших основу научных исследований электрических явлений. Они же были и первыми учителями русских ученых. По инициативе профессора Г. В. Крафта в Петербургской академии наук был создан Физический кабинет. В 40-х годах XVIII в. в кабинете было около 400 приборов, из которых: 180 – по механике, 101 – по оптике, 40 – по магнетизму. С 1744 г. Физический кабинет возглавил Г. В. Рихман.

Параллельно с М. В. Ломоносовым опыты с «небесным электричеством» в Америке проводил Бенджамин Франклин (рис. 26) – ученый, поэт, дипломат, который внес большой вклад в изучение электрических явлений и который в 1752 г. изобрел громоотвод, правильнее было бы его назвать молниеотвод.

а



б

Рис. 26. Бенджамин Франклин (1706-1790 гг.) (а) и одна из конструкций его громоотвода (б)
(URL: http://gruzdoff.ru/wiki/)

Б. Франклин – американский физик, политический и общественный деятель родился в г. Бостоне, получив образование самостоятельно.

В 1727 г. основал в Филадельфии собственную типографию и издавал *«Пенсильванскую газету»*. Основал первую в США публичную библиотеку, Американское философское общество, Пенсильванский университет. Сыграл значительную роль в борьбе североамериканских колоний за независимость, принимал участие в составлении *«Декларации независимости»* и выработке Конституции США, выступал против угнетения негров и рабства. Член Лондонского Королевского общества (1756 г.) и Петербургской академии наук (1789 г.).

В 1746-1754 гг. осуществил ряд экспериментальных исследований, принесших ему широкую известность – объяснил действие «лейденской банки», построил первый плоский конденсатор, состоящий из двух параллельных металлических пластин, разделенных стеклянной прослойкой, изобрел молниеотвод.

В 1750 г. Франклин разработал теорию электрических явлений, так называемую *«унитарную теорию»*, согласно которой электричество представляет собой тонкую жидкость, пронизывающую все тела. В каждом незаряженном нейтральном теле всегда содержится определенное количество «электрической жидкости». Если по каким-либо причинам в теле появляется ее излишек, то тело заряжается положительно, когда ее недостаток – отрицательно.

В этой теории Франклина впервые были введены понятие положительного и отрицательного электричества (заряда) и их обозначения «+» и «–». Ранее определенное Шарлем Дюфе *«смоляное»* электричество было названо Франклином отрицательным, а *«стеклянное»* – положительным. Эти названия он выбрал потому, что *«смоляное»* и *«стеклянное»* электричества, подобно положительной и отрицательной величинам, взаимно уничтожаются. Исходя из своей теории, объяснил наблюдаемые им явления.

В унитарной теории Франклина содержался закон сохранения электрического заряда. Свои исследования Франклин изложил в письмах (1747-1754 гг.) к члену Лондонского Королевского общества П. Коллинсону, который опубликовал их. Письма стали широко известны и имели большой успех в Европе. Франклин первым доказал, что молния и искра, полученная с помощью «лейденской банки» – это одно и то же явление, только в разных масштабах, что *«вещество молнии»* и *«вещество электричества»* тождественны.

Вот что он писал в 1749 г.: *«Электрическая жидкость имеет с молнией следующее сходство: 1) дает свет; 2) тот же цвет света; 3) ломаное направление; 4) быстрота движения; 5) проводится металлами; 6) создает треск и шум при взрыве; 7) встречается в воде и во льду; 8) разрывает предметы, через которые проходит; 9) убивает животных; 10) плавит металлы; 11) зажигает легко воспламеняющиеся вещества; 12) серный запах»*.

Когда стала ясна электрическая природа молнии, Франклин смог осуществить главное изобретение своей жизни – громоотвод.

Молниеотвод от шаровых молний был изобретен русским инженером Б. Игнатовым в XX в.

В 1759 г. академик Российской академии Ф. Эпинус открыл и объяснил электрическую поляризацию, существование силовых магнитных линий, взаимодействие электрических и магнитных масс.

Франц Ульрих Теодор Эпинус (1724-1802 гг.) был приглашен в Петербургскую академию из Ростокского университета в 1757 г. В 1759 г. Эпинус написал работу *«Опыт теории электричества и магнетизма»*. Эпинус вводит понятие об электрических притяжениях и отталкиваниях, то есть он начинает работы по обоснованию электрического поля. Он, также как и Генри Кавендиш (1731-1810 гг.), указал на зависимость сил взаимодействия зарядов от расстояния, но точные количественные соотношения определил позднее Шарль Огюстен Кулон (1736-1806 гг.) в 1785 г. Характерно, что Ф. Эпинус, как и Бенджамин Франклин, не знал о существовании положительных и отрицательных зарядов. Вместо этого Ф. Эпинус

оперирует понятиями *«недостатка»* и *«избытка»* электричества в телах, что можно сравнить с современным понятием *«дырка»* в полупроводниках.

Из сказанного напрашивается жизненно важный вывод, над которым мы редко задумываемся: первые и очень важные открытия в любой области знаний нередко совершают специалисты других разделов науки или деятельности. Подтвердим это утверждение некоторыми примерами.

Итальянец Луиджи Гальвани (рис. 27, *а*), заведующий кафедрой анатомии, в 1791 г. опубликовал труд *«Трактат о силах электричества при мышечном движении»*.

В конце 1780 г. профессор анатомии в Болонье Л. Гальвани занимался в своей лаборатории (рис. 27, *б*) изучением нервной системой отпрепарированных лягушек. Столкнувшись с необъяснимым явлением, Л. Гальвани счел за лучшее особо позаботиться о детальном воспроизведении опытов. *«Я разрезал лягушку,* – писал он, – *и положил ее безо всякого умысла на стол, где на некотором расстоянии стояла электрическая машина. Случайно один из моих ассистентов дотронулся до нерва лягушки скальпелем, и в тот же момент мускулы лягушки содрогнулись как бы в конвульсиях. Другой ассистент, обыкновенно помогавший мне в опытах по электричеству, заметил, что явление это происходило лишь тогда, когда из кондуктора машины извлекалась искра. Пораженный новым явлением, я тотчас же обратил на него свое внимание...»*.

а *б*

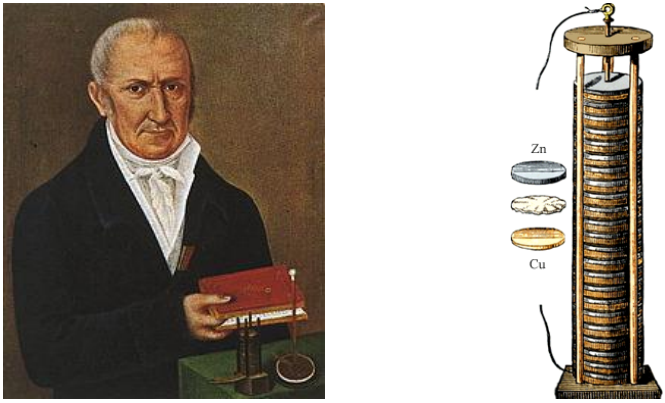
Рис. 27. Луиджи Гальвани (1737-1798 гг.) (а) и лаборатория, в которой он проводил опыты (б)
(URL: http://vdvgazeta.ru/news/; http://hollywales.blogspot.ru/)

Л. Гальвани решил, что все дело тут в электрических искрах. Для того чтобы получить более сильный эффект, он вывесил несколько отпрепарированных лягушачьих лапок на медных проволочках на железную садовую решетку во время грозы. Однако молнии – гигантские электрические заряды – никак не повлияли на поведение отпрепарированных лапок. Что не удалось сделать молнии, сделал ветер. При порывах ветра лягушки раскачивались на своих проволочках и иногда касались железной решетки. Как только это случалось, лапки дергались. Л. Гальвани, однако, отнес это явление на счет грозовых электрических разрядов.

Л. Гальвани приписывал металлам лишь пассивную роль проводников электричества. Поэтому вывод его абсолютно логичен: если при прикосновении к лапкам непроводников эффекта нет, стало быть, источник электричества находится где-то внутри лягушки.

Открытия Л. Гальвани через 121 год дали толчок исследованиям человеческого организма с помощью биоэлектрических токов. Обнаруживались больные органы при исследовании их электрических сигналов. Работа любого органа (сердца, мозга) сопровождается биологическими электрическими сигналами, имеющими для каждого органа свою форму. Если орган заболевает, сигналы изменяют свою форму, и при сравнении *«здоровых»* и *«больных»* сигналов обнаруживаются причины заболевания.

Опыты Луиджи Гальвани натолкнули на изобретение нового источника электричества профессора Тессинского университета Алессандро Вольта (рис. 28, *а*).



а *б*

Рис. 28. Алессандро Вольта (1745-1827 гг.) (а) и его «вольтов столб» (б)

(URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/; http://www.keywordsuggests.com/)

В 1800 г. Алессандро Вольта объявил Лондонскому Королевскому обществу об изобретении вольтова столба (рис. 28, *б*). Свой источник электричества он назвал в честь Л. Гальвани гальваническим элементом. Это был источник электричества более мощный, чем генератор Герике. Он состоял из большого количества малых элементов, каждый из которых содержал две пластинки из пары разных металлов: медь-свинец или серебро-цинк, между которыми находилась пористая, пропитанная кислотой (или щелочью) прокладка. Набирая последовательно большое количество таких элементов, Вольта получал электрохимический источник электричества напряжением до 2 кВ. Этого напряжения было уже достаточно для исследования электричества, получения электрической дуги, электродуговой свечи, сваривания металлов и т.п. А. Вольта в это время было 56 лет. Наполеон за это открытие вручил ему в 1801 г. Большую Золотую медаль.

А. Вольта – итальянский физик, химик, физиолог. Прочтение им трактата Л. Гальвани *«Трактат о силах электричества при мышечном движении»* явилось причиной его обращения к электричеству. А. Вольта нашел в трактате то, что ускользнуло от внимания самого автора, – упоминание о том, что эффект содрогания лапок наблюдается лишь тогда, когда лапки соприкасаются с двумя различными металлами. Вольта решает поставить видоизмененный опыт, но не на лягушке, а на самом себе.

Он брал две монеты, причем обязательно из разных металлов и клал их себе в рот – одну на язык, другую – под язык. Если после этого монеты или кружочки Вольта соединял проволочкой, он чувствовал солоноватый привкус; тот самый привкус, но гораздо слабее, мы можем почувствовать, лизнув одновременно два контакта батарейки. Из предыдущих опытов Вольта знал, что такой вкус вызывается электричеством. Поставив друг на друга свыше 100 металлических (цинк и серебро) кружков, разделенных бумагой, смоченной соленой водой, Вольта получил довольно мощный источник электричества – вольтов столб. Сразу вслед за этим А. Вольта сделал еще одно изобретение – электрическую батарею, пышно названную «короной сосудов» и состоящую из многих последовательно соединенных цинковых и медных пластин, опущенных попарно в сосуды с разбавленной кислотой, – уже довольно солидный источник электрического тока.

Умер Вольта в 1827 г. В 1875 г. антропологами был исследован его череп, который был крупным и напоминал черепа древних римлян, объем мозга был в значительной степени выше среднего.

Создание первого источника электрического тока сыграло огромную роль в развитии науки об электричестве и магнетизме.

Современник Вольта французский ученый Ф. Арго считал *«вольтов столб»* самым замечательным прибором из когда-либо изобретенных, не исключая телескоп и паровую машину.

В 1821 г. был изобретен еще один источник электричества – термоэлемент. Профессор Томас Иоганн Зеебек (рис. 29, *а*) обнаружил, что, если один спай двух разнородных металлов А и В (например, медь-константан) нагреть ($T_г$), а второй спай охладить ($T_х$) или просто не нагревать, то возникает термоэлектродвижущая сила (U_{AB}, В):

$$U_{AB} = \frac{k}{q} \cdot ln \frac{n_A}{n_B} \cdot (T_г - T_х),$$

где k – постоянная Больцмана, q – заряд электрона, n – плотность электронов.

Воспроизводя опыты Эрстеда, Зеебек обнаружил, что при замыкании концов цепи, состоящей из двух разнородных металлических проводников, спаи которых находились при разных температурах, магнитная стрелка, помещенная вблизи этой цепи, поворачивалась так же, как в присутствии магнита (рис. 29, *б*). Угол поворота стрелки был связан с величиной разности температур на спаях исследуемой цепи. Эти эксперименты вскоре были подтверждены внимательно следившим за работами Зеебека Эрстедом, а открытое явление было названо им «*термоэлектрическим»*. Ток, возникающий в замкнутой цепи, спаянной из двух неоднородных металлов, был назван термоэлектрическим током, а всякая комбинация металлов, обуславливающая возникновение такого тока, – термоэлементом. Сам Зеебек настаивал на другой формулировке – *«термомагнитное явление»*. Но надо отдать должное берлинскому профессору – он сам, проведя множество экспериментов, накопил массу неопровержимого материала, который не только заставил его отказаться от своего названия, но и предоставил науке много новых фундаментальных данных по изучению цепей из комбинаций твердых, жидких металлов, сплавов и соединений при воздействии на них разных температур. Это позволило ему создать термоэлектрический ряд, который до сих пор представляет интерес и не сильно отличается от рядов, составленных гораздо позднее Юсти (1948 г.) и Мейснером (1955 г.). Таким образом, *«эффект Зеебека»* – это переход тепловой энергии в электрическую.

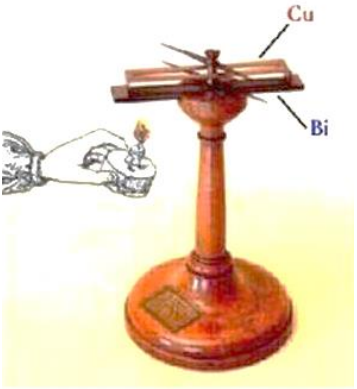
Жан Шарль Пельтье (рис. 30) открыл противоположное явление в 1834 г. Если к одному из спаев двух разнородных проводников

приложить постоянное электрическое напряжение, то один из спаев будет нагреваться, а другой охлаждаться:

$$Q_n = K_n \cdot \tau \cdot I \,,$$

где $Q_П$ – теплота Пельтье; K_n – коэффициент пары металлов (коэффициент Пельтье); I – ток; τ – время.

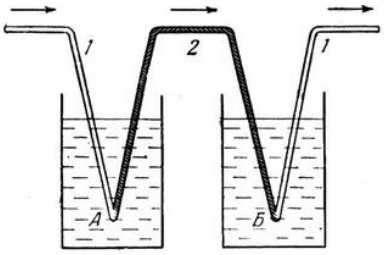
А



б

Рис. 29. Томас Иоганн Зеебек (1770-1831 гг.) (а) и опыт, подтверждающий действие на магнитную стрелку замкнутого контура из разнородных металлов без включения в него «вольтова столба» (б)
(URL: http://termopary.far.ru/history.html)

а



б

Рис. 30. Жан Шарль Пельтье (1785-1845 гг.) (а), опыт по измерению тепла Пельтье (б)
(URL: https://ru.wikipedia.org/wiki; http://newkitiran.com/peltier/)

В 1834 г. французский физик и метеоролог Жан Шарль Пельтье обнаружил, что при протекании электрического тока на границах двух разных проводников, например, висмута и сурьмы, происходит на одном конце поглощение тепла, а на другом – его выделение *(«эффект Пельтье»*). Изменение температуры при этом пропорционально силе тока. Пельтье, как и Зеебек, не смог правильно интерпретировать результаты своего исследования. Только в 1838 г. петербургский академик Э. Ленц доказал, что *«эффект Пельтье»* является самостоятельным физическим явлением, заключающимся в выделении и поглощении на спаях цепи добавочного тепла при прохождении постоянного тока. При этом характер процесса, а именно поглощение или выделение, зависит от направления тока.

С изобретением каждого нового источника электричества ученые с интересом обнаруживали, что таинственное электричество возникает под действием совершенно разнородных сил, например, тепла, химических реакций, механического трения, света и т.п. Лишь проникновение в структуру вещества, в атомную и молекулярную природу материи позволило позднее понять, что объединяет эти столь различные внешние явления.

2.2. Первые законы электротехники

Первые законы электротехники открывались и обосновывались весьма своеобразно: иногда по аналогии с другими явлениями, иногда умозрительно, усилиями мысли разных ученых в разных странах. Правильные взгляды на природу электричества постепенно пробивали себе дорогу, при этом, не всегда имея полного понимания причин физических явлений, исследователи устанавливали закономерности, формулировали законы.

Первый важный закон электричества был установлен французским физиком Шарлем Кулоном в 1785 г., задолго до изобретения гальванических элементов (рис. 31, *а*). Этот закон своей формулировкой напоминает закон всемирного тяготения – сила взаимодействия (F) двух точечных неподвижных заряженных тел в вакууме прямо пропорциональна произведению их зарядов (q_1 и q_2) и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними (r^2). Притяжение или отталкивание двух зарядов означало их различность или их идентичность. Действие закона было подтверждено в опыте с прибором, названным Кулоном крутильными весами (рис. 31, *б*).

$$F = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi \cdot \varepsilon_a \cdot r^2},$$

где ε_a – абсолютная диэлектрическая проницаемость среды, в которой находятся заряды.

а

б

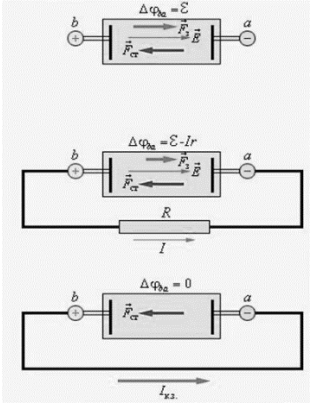
Рис. 31. Шарль Огюстен де Кулон (1736-1806 гг.) (а) и его крутильные весы (б)
(URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/)

Школьный учитель физики Георг Ом (рис. 32, *а*) открыл закон, который имеет очень большое значение: сила тока на участке однородной электрической цепи прямо пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорциональна электрическому сопротивлению этого участка.

Г. С. Ом – немецкий физик, член-корреспондент Берлинской академии наук (1839 г.). Окончил Эрлангенский университет в 1811 г., преподавал математику, затем физику в различных гимназиях, с 1833 г. – профессор Нюрнбергской высшей политехнической школы, а с 1839 г. – ее ректор.

Экспериментально открыл в 1826 г. основной закон электрической цепи, связывающий между собой силу тока, напряжение и сопротивление (закон Ома). В 1827 г. вывел его теоретически, для участка в полной цепи, ввел понятие *«электродвижущая сила»*, *«падение напряжения и проводимость»*, а в 1831 г. впервые измерил ЭДС источника тока.

а



б

Рис. 32. Георг Ом (1787-1854 гг.) (а), законы Ома (б)

(URL: http://www.eduspb.com/; http://eightenn.appspot.com/)

В своих исследованиях Ом оригинально применил метод Кулона. Над проволокой с током он помещал магнитную стрелку, подвешенную на нити, закручиванием которой удерживал стрелку в положении равновесия. Углом кручения измерялась сила тока. Он установил постоянство силы тока в различных участках цепи, показал, что сила тока убывает с увеличением длины провода и с уменьшением площади его поперечного сечения (этот закон можно применять для всех трубопроводов с водой, газом и т.д.). Он установил ряд из многих веществ по возрастанию сопротивления, подтвердив тем самым результаты опытов Дэви, говорящих об объективности законов и явлений.

Опыты и теоретические доказательства Ома были описаны в его главном труде *«Гальваническая цепь, разработанная математически»*, вышедшем в 1827 г. Уподобляя сознательно движение электричества тепловому потоку или потоку воды и принимая перепад температур или высот за падение напряжения, Ом установил свой знаменитый закон.

В 1827 г. Ом, будучи в то время учителем гимназии в Нюрнберге, хотел воспользоваться как диссертацией при Берлинском университете своим сочинением, в котором закон распространения электричества в проводниках, столь важный для всей электротехники, был им математически обоснован. Однако ректор университета Гегель отказал ему в этом.

Законы протекания электрического тока в разветвленной цепи были установлены спустя два десятилетия, в 1847 г., знаменитым

немецким физиком и математиком Густавом Робертом Кирхгофом (1824-1887 гг.).

Первый закон Кирхгофа представляет собой следствие закона сохранения зарядов в электрической цепи. В нем рассматриваются токи в узловых точках цепи. Если условиться считать токи, текущие к узлу, положительными, а токи, текущие от узла, отрицательными, то в соответствии с первым законом Кирхгофа алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле разветвленной электрической цепи, равна нулю.

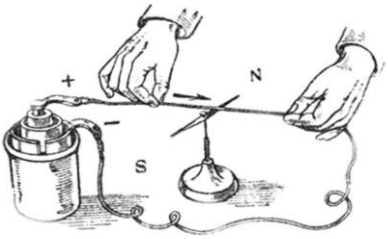
В соответствии со вторым законом Кирхгофа алгебраическая сумма произведений сил токов на соответствующие сопротивления в замкнутом электрическом контуре равна алгебраической сумме всех электродвижущих сил в этом же контуре. Знаки ЭДС определяются следующим правилом: если ЭДС повышает потенциал в направлении обхода (обход от *«минуса»* к *«плюсу»*), ей приписывают знак *«плюс»*, а если понижает – *«минус»*.

Следует отметить, что XIX в. воспринял прекрасную традицию XVIII в. и оставил память об удивительно разносторонних ученых.

Ханс Кристиан Эрстед (рис. 33, *а*) получил золотую медаль за литературное эссе *«Границы поэзии и прозы»* и одновременно представил работу по химическому исследованию свойств щелочей. Его докторская диссертация посвящена медицине и философии, он вел исследования в области фармацевтики. В 1813 г. Эрстед публикует работу о влиянии электричества на магнит, а в 1820 г. – работу о прямой связи магнитного эффекта и электрического тока в проводнике – магнитный эффект возникает вокруг проводника, по которому протекает ток.

Более всего Эрстеда занимала идея о всеобщей связи. Необычная энергия, свойственная ему с детства, вела его к новым и новым поискам. В 1813 г. во Франции выходит его труд *«Исследования идентичности химических и электрических сил»*. В нем Эрстед впервые высказывает идею о связи вольтовского электричества и магнетизма. Его соображения были последовательными: электричество рождает свет – искру, звук – треск, наконец, оно может производить тепло – проволока, замыкающая зажимы «лейденской банки», нагревается. Не может ли электричество производить магнитных действий?

а



б

Рис. 33. Ханс Кристиан Эрстед (1777-1851 гг.) (а), опыт по определению магнитного поля прямолинейного проводника с током (б)

(URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/; http://www.sxemotehnika.ru/)

Идея связи электричества и магнетизма носилась в воздухе, и многие лучшие умы Европы были ею увлечены. Немалый вклад в изучение этих явлений внес французский физик Араго.

Однажды в главном порту Майорки появилось поврежденное французское военное судно «Ля Ралейн». Корабль едва дошел своим ходом до причала. Когда команда оказалась на берегу, уступив палубу нескольким именитым французским ученым, в том числе 22-летнему Доминику Франсуа Жану Араго (рис. 34, *а*), выяснилось, что корабль был разрушен молнией. Пока комиссия осматривала судно, покачивая головами при виде обгоревших мачт и надстроек, Араго поспешил к компасам и там увидел примерно то, чего ожидал: стрелки компасов показывали в разные стороны.

Через год, осматривая то, что было (несколько дней назад) генуэзским судном, Араго снова обнаружил, что стрелки компасов размагничены. В кромешной тьме южной туманной ночи капитан, направив по компасу судно к северу, подальше от опасных мест, на самом деле неудержимо двигался к месту, которого старательно пытался избежать: корабль шел к югу, прямо к скалам, обманутый пораженным молнией компасом.

а

б

Рис. 34. Доминик Франсуа Жан Араго (1786-1853 гг.) (а) и диск Араго (б)

(URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/; http://www.fleaglass.com/ads/aragos-disk/)

Все эти разрозненные факты Араго собирал не зря. Они свидетельствовали о связи молнии с магнетизмом. Араго догадался, что он на пороге открытия.

Как бы проверяя предположение Араго, Эрстед провел серию экспериментов, в результате которых было обнаружено отклонение стрелки компаса от нагретой проволоки. Кроме того, Эрстед выяснил еще одну странную вещь, не укладывающуюся в ньютоновские представления о действии и противодействии: магнитный эффект электрического тока имеет круговое движение вокруг него.

Эрстед, трактуя эксперимент, высказал гипотезу о вихревом характере электромагнитных явлений. *«Вихреобразность»* процесса, вызывающего в памяти водоворот, вихрь, спираль, долго не находила сторонников, и даже Фарадей поначалу не оценил эту догадку. Он еще долго был убежден, что силы, действующие между проводниками с током и магнитной стрелкой, – это силы притяжения и отталкивания, подчиняющиеся законам Ньютона.

Опыт Эрстеда доказывал не только связь между электричеством и магнетизмом. То, что открылось ему, было новой тайной, не укладывавшейся в рамки ньютоновских законов и прямо нарушающей третий из них: направления возмущения силы – электричества и силы реакции магнетизма были у Эрстеда перпендикулярны. Ученый впервые увидел «противодействие», не противоположное по направлению «действию».

Публикации Эрстеда побудили других ученых, исследователей к новым открытиям.

У математика Андре Мари Ампера (рис. 35, *а*), присутствовавшего на докладе об открытиях Эрстеда ученого секретаря Доминика Франсуа Жана Араго на заседании Французской Академии в 1820 году, родилась мысль о возможности взаимодействия двух проводников с током. Изготовив из проводников соленоиды и пропустив через них ток, он находит, что они ведут себя подобно двум магнитам и, кроме того, высказал мысль (1822 г.), что магнит в свою очередь являет собой совокупность токов.

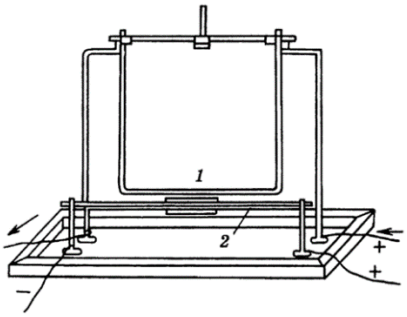
Открыв взаимодействие круговых токов, Ампер начал исследование линейных токов. С этой целью он построил так называемый «станок Ампера» (рис. 35, *б*), состоящий из подвижной рамки *1* и неподвижного проводника *2*.

Андре Мари Ампер родился 22 января 1775 г. Еще 14-летним мальчиком Ампер прочитал с большим увлечением двадцать томов знаменитой «Энциклопедии», владел в совершенстве латинским, греческим и итальянским языками. Изучал математику и естественные науки по трудам Эйлера, Бернулли. Юность Ампера – время великих открытий в области электричества. Эксперименты Франклина, первая статья Вольта о гальваническом электричестве – естественно, что все эти события не могли не коснуться Ампера, и уже со времен франклиновых опытов Ампер то и дело обращается к электричеству. Ампер усиленно занимался электричеством, разработав его новый раздел – электродинамику. И то, что сделал Ампер, вызывает у нас восхищение, а то, как он сумел это сделать, – изумление. Работа Ампера над созданием электродинамики продолжалась вплоть до 1826 г., когда вышел в свет его основной, обобщающий все опыты труд под названием *«Теория электродинамических явлений, выведенная из опыта»*. В этой работе Ампером была разработана не только качественная теория, но и количественный закон для силы взаимодействия токов – один из основополагающих законов электродинамики, из которого вытекает целый ряд следствий (рис. 35, *в*).

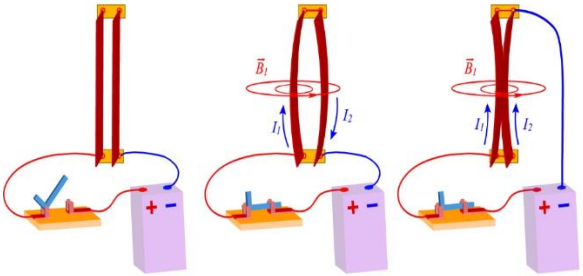
Наиболее емкую и точную характеристику открытий Ампера дал основоположник теории электромагнитного поля Д. Максвелл: *«Исследования Ампера, в которых он установил законы механического взаимодействия электрических токов, принадлежат к числу самых блестящих работ, которые были проведены когда-либо в науке. Теория и опыт как будто в полной силе и законченности вылились сразу из головы этого «Ньютона электричества». Его сочинение совершенно по форме, недосягаемо по точности выражений и, в конечном счете, приводит к одной формуле, из которой можно вывести все явления, представленные электричеством, и которая*

навсегда останется основной формулой электродинамики». Трудно представить себе более высокую оценку, чем та, которую дал английский физик своему французскому коллеге.

а



б



в

Рис. 35. Андре Мари Ампер (1775-1836 гг.) (а), станок Ампера (б), силовое взаимодействие двух проводников с током (в)

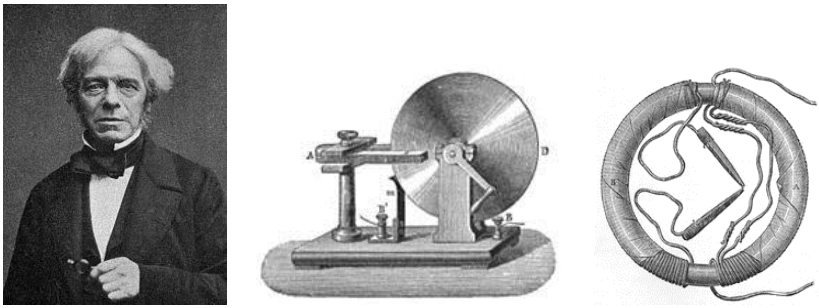
(URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/; http://light-fizika.ru/index.php/8-fizika/)

Труды Андре Мари Ампера сыграли большую роль в истории цивилизации человечества. Ампер получил за свои работы памятник, состоящий всего из пяти букв, – единицу тока *«ампер»*, названную его именем.

Создание магнитного поля электрическим током установили экспериментально в 1820 году Ж. Био (1774-1862 гг.) и Ф. Савар (1791-1841 гг.), А. М. Ампер (1791-1841 гг.), а математически это явление описал П. Лаплас (1749-1827 гг.).

Майкл Фарадей (рис. 36, *а*) первоначально имел профессию переплетчика. Он много читал статей в переплетаемых им журналах и очень заинтересовался описываемыми там свойствами электричества. Поставил множество опытов и впоследствии сделал целый ряд

открытий в области электромагнетизма. Его открытия лежат в основе создания электродвигателей и электрогенераторов, трансформаторов, электролиза, оптических и других явлений. Фарадей сумел далеко опередить свое время. Он доказал, что электричество и магнетизм неразрывно связаны друг с другом. Обнаруженное им явление получило название электромагнитной индукции; его описание было опубликовано в 1831 г.



а *б* *в*

Рис. 36. Майкл Фарадей (1791-1867 гг.) (а), диск Фарадея (б) и его трансформатор (в)
(URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/; http://mafidafisika.blogspot.ru/; http://desenchufados.net/)

Фарадей первым из ученых ввел понятия электрического и магнитного полей, окружающих магниты и проводники с током. Эти поля представляют собой электромагнитные волны, распространяющиеся в пространстве.

Открытие Фарадеем электромагнитной индукции относится к наиболее выдающимся событиям XIX в. Работа миллионов трансформаторов, электрогенераторов и электродвигателей во всем мире основана на принципе электромагнитной индукции.

М. Фарадей – английский физик. Родился в Лондоне, в семье кузнеца. Учился самостоятельно. В 1833-1862 гг. – профессор кафедры химии.

Самое известное открытие Фарадея – явление электромагнитной индукции. Интересно проследить, как Фарадей пришел к своему открытию.

Получив описание работы Эрстеда, сэр Гемфри Дэви и Фарадей буквально на следующий день повторили его опыт. Убедившись в правоте Эрстеда, поняли, что пропасть между электрическим током и магнетизмом исчезает. Объяснить и развить опыты

Эрстеда выпало на долю Ампера. Сделать что-либо новое в этой области в течение 1820-1821 гг. ни Гемфри Дэви, ни Фарадею не удалось.

В 1821 г. Гемфри Дэви постепенно отошел от вопросов, связанных с электричеством, в то же время М. Фарадей впервые осуществил вращение магнита вокруг проводника с током и проводника с током вокруг магнита, создав тем самым лабораторную модель электродвигателя. В этом опыте наглядно проявилась связь между электрическими и магнитными явлениями. Не случайно, что в этом году Фарадей поставил перед собой задачу *«превратить магнетизм в электричество»*. В 1831 г. он открыл явление электромагнитной индукции – возникновение электрического тока в проводнике при изменении магнитного потока через контур проводника.

Кроме интуитивной убежденности во всеобщей связи явлений, его, собственно, в поисках *«электричества из магнетизма»* ничего не поддерживало. К тому же он, как и его учитель – сэр Гемфри Дэви, больше полагался на свои опыты, чем на мысленные построения. Сэр Гемфри Дэви учил его: *«Хороший эксперимент имеет больше ценности, чем глубокомыслие такого гения, как Ньютон»*.

Начав работать, Фарадей непременно доводил работу до конца. Его девизом было: *«Работать, заканчивать, публиковать»*. Своими успехами в науке он обязан не только таланту, но и волевой целеустремленности.

Двадцать девятого августа 1831 г. он собрал в лаборатории несложную установку: железное кольцо диаметром около шести дюймов с двумя обмотками из изолированной проволоки. Когда Фарадей подключил к зажимам одной обмотки батарею, дернулась стрелка гальванометра, присоединенного к другой обмотке. Дернулась и успокоилась, хотя постоянный ток продолжал течь по первой обмотке. Фарадей тщательно просмотрел все детали простой установки – все было в порядке. Но стрелка гальванометра упрямо стояла на нуле. С досады Фарадей решил выключить ток, и тут случилось чудо – во время размыкания цепи стрелка гальванометра, показывающего электрическое напряжение в другой обмотке, опять качнулась и опять застыла на нуле. Фарадей был в недоумении: во-первых, почему стрелка ведет себя так странно; во-вторых, имеют ли отношение замеченные им всплески к явлению, которое он искал?

Вот тут-то и открылись Фарадею во всей ясности великие идеи Ампера – связь между электрическим током и магнетизмом. Ведь первая обмотка, в которую он подавал ток, сразу становилась маг-

нитом. Если рассматривать ее как магнит, то эксперимент 29 августа показал, что магнетизм как будто бы рождает электричество. Только две вещи оставались странными: почему всплеск электричества стал быстро сходить на нет? И более того, почему всплеск появляется при выключении магнита? Эффект ясно выражен, но тем не менее абсолютно непонятен.

Следующий эксперимент состоялся 1 сентября, в котором Фарадей решил вернуться к самому началу – к двум обмоткам: одной с током, другой – подсоединенной к гальванометру. Отличие от первого эксперимента состояло в отсутствии стального кольца-сердечника. Всплеск был почти незаметен. Результат тривиален – стало ясно, что магнит без сердечника гораздо слабее магнита с сердечником, поэтому и эффект выражен слабее. Это ясно для нас, уже знающих, в чем тут дело, но для Фарадея роль железного сердечника отнюдь не была понятна. Две недели он не подходит к приборам, размышляя о причинах неудачи. И уже 17 октября проводит триумфальный эксперимент. Фарадей заранее знает, как это будет. Опыт удается блестяще.

Интересно, что до Фарадея абсолютно такие же опыты проводил Ампер. Чтобы избежать ошибок, связанных с сотрясением приборов, Фарадей и Ампер поместили измерительный прибор в отдельную комнату. Разница, казалось бы, была очень небольшой: Ампер сначала вдвигал сердечник, а потом следовал в соседнюю комнату посмотреть, не появился ли ток. Пока Ампер шел из комнаты в комнату, ток, который возникает лишь во время вдвигания, то есть во время изменения магнитного поля во времени, уже успокаивался, и Ампер, придя в соседнюю комнату, убеждался в том, что *«никакого эффекта нет»*. Фарадей же работал с ассистентом.

Если движение магнита относительно проводника создает электричество, то, видимо, и движение проводника относительно магнита должно рождать электричество. *«Электрическая волна»* не исчезнет до тех пор, пока будет продолжаться взаимное перемещение проводника и магнита. Значит, есть возможность создать генератор тока, действующий сколь угодно долго, лишь бы продолжалось взаимное движение проволоки и магнита. Вот он путь к современным электрогенераторам. И поскольку Фарадей правильно оценил принцип действия нового устройства, оно было им быстро построено и испытано.

Двадцать восьмого октября Фарадей установил между полюсами подковообразного магнита вращающийся медный диск, с которого при помощи скользящих контактов (один расположен был

на оси, другой на периферии диска) можно было снимать электрическое напряжение. Это был первый электрический генератор, созданный руками человека.

Если Фарадей направлял свой интерес на какую-нибудь проблему, он уже не переставал думать о ней и работал до тех пор, пока не находил ответа. Биограф Фарадея английский физик Джон Тиндаль писал о нем: *«Он раздражался, когда ему приходилось опираться на факты, хотя бы слегка подверженные сомнению. Он ненавидел так называемое сомнительное знание и всегда старался превратить его в знание несомненное или в совершенное незнание»*.

Анализ своих исследований и уже известных явлений заставил Фарадея задуматься о природе электричества. Как он описал потом, ход исследований по электричеству привел его *«к такому месту, моменту, когда для продолжения исследований стало существенно, чтобы не оставалось никаких сомнений относительно того, тождественны или различны отдельные виды электричества, возбуждаемые различными способами»*.

Пятнадцатого декабря 1832 г. Фарадей представляет Королевскому обществу подробную статью о своих опытах и выводах. В январе 1833 г. он докладывает обществу о своих исследованиях, которые привели его к выводу о единой природе всех видов электричества, а их на тот момент было определено пять видов – *«животное электричество»*; *статическое электричество* (искры, получающиеся благодаря трению изоляторов); *гальваническое электричество* (*«гальванизм»*); *термоэлектричество*; *магнитоэлектричество*; каково бы ни было их происхождение, все они могут производить все присущие магнитные свойства.

Фарадей был твердо убежден в единства сил природы. Эта теоретическая предпосылка и побудила его добиваться *«превращения магнетизма в электричество»*. Той же мыслью он руководствовался и в дальнейшем в своих работах. Он говорил, что искусство экспериментатора состоит в том, чтобы уметь задавать природе вопросы и понимать ее ответы. Сам он владел этим искусством в совершенстве.

Вывод Фарадея о том, что электричество, каким бы путем оно ни было получено, едино по своей природе, – тоже один из важнейших в истории электричества. Открытие Фарадея еще раз подтверждает остроумную мысль, некогда выраженную Исааком Ньютоном: *«Природа проста и не роскошествует излишними причинами»*.

Разрабатывая теорию электромагнитной индукции, Фарадей пришел к идее электромагнитных волн, считая ее исключительно

важной. Эту идею он зафиксировал в письме от 12 марта 1832 г. и в запечатанном виде передал для хранения в архив Королевского общества. Письмо было обнаружено лишь через 106 лет, в 1938 г. Поразительны своей проницательностью основные мысли письма: на распространение магнитного взаимодействия требуется время, есть возможность теорию колебаний применить к распространению электромагнитной индукции, процесс распространения ее похож на колебания взволнованной водной поверхности или же на звуковые колебания частиц воздуха.

И еще на одном великом предвидении Фарадея невозможно не остановиться: это касается спора между сторонниками контактной и химической теории электрического тока. Первые находят, что источник мощности заключается в контакте разнородных проводников, вторые видят его причину «в химической силе», или, по-нашему, «в химической энергии». Являясь сторонником химической теории, Фарадей пишет: *«Контактная теория допускает, что сила... может будто бы возникнуть из ничего, что без изменения действующей материи и без расхода какой-либо производящей силы может производиться ток, который будет вечно идти против постоянного сопротивления. Это было бы поистине сотворением силы. Мы много имеем процессов, при которых форма силы может претерпевать такие изменения, что происходит явное превращение ее в другую. Так, мы можем превратить химическую силу в электрический ток или ток в химическую силу. Прекрасные опыты Зеебека и Пельтье показывают взаимную превращаемость теплоты и электричества, а опыты Эрстеда и мои собственные показывают взаимную превращаемость электричества и магнетизма.*

Но ни в одном случае, даже с электрическим угрем и скатом, нет чистого сотворения силы, нет производства силы без соответствующего израсходования «чего-либо, что питает ее».

Трудно без восхищения гением Фарадея читать эти строки, представляющие по сути дела, качественную формулировку закона сохранения и превращения энергии, ведь это было написано в конце 1839 – начале 1840 годов, когда этот закон не был еще открыт.

Ко времени Максвелла существовали две теории электричества: теория «силовых линий» Фарадея и теория, разработанная великими французами Кулоном, Ампером, Био, Саваром, Араго и Лапласом. Исходная точка французов – представление о так называемом «дальнодействии», мгновенном действии одного тела на другое на расстоянии без помощи какой-либо промежуточной среды.

Эти ученые были в плену авторитета великого ученого Ньютона и в плену созданных им математических формул (закон всемирного тяготения), хотя Ньютон, по существу, не может считаться первым апологетом *«действия на расстоянии»*. Так, он, в частности, писал: *«Непонятно, каким образом неодушевленная косная материя, без посредства чего-либо иного, что нематериально, могла бы действовать на другое тело без взаимного прикосновения.*

Что тяготение должно быть врожденным, присущим и необходимым свойством материи, так что одно тело может взаимодействовать с другим на расстоянии, через пустоту, без участия чего-то постороннего, при посредстве чего и через что их действия и сила могли бы передаваться от одного к другому, это мне кажется столь большим абсурдом, что я не представляю себе, чтобы кто-либо, владеющий способностью компетентно мыслить в области вопросов философского характера, мог к этому прийти».

Таким образом, Ньютон настоял на позициях дальнодействия. Однако последователи его – Роджер Котс и позднее черногорец Бошкович пришли в конце концов к тому, что тяготение – столь же существенное свойство материи, как протяженность, способность к движению и т.п. Другими словами, они пришли к тому, что промежуточная среда для взаимодействия не нужна – они пришли к концепции *«дальнодействия»*.

Шарль Огюстэн Кулон в начале своей научной деятельности написал несколько трактатов о скручивании нитей, волос, тонких проволок. Его глубокие знания в этом вопросе позволили создать всем известные крутильные весы, на которых он изучал силу взаимодействия двух электрических зарядов.

Результат опытов был поразителен: сила взаимодействия зарядов в пустоте, точно так же как и ньютоновская сила тяготения, зависела лишь от величины зарядов и расстояния между ними. Пустота, находившаяся между зарядами, по мнению Кулона, никаким образом не входила в формулу вполне справедливо, так как там *«ничего не было»* и никакого механизма передачи от первого заряда к некоторому участку пространства, затем к другому, третьему и так далее до второго заряда, – механизма, потребовавшего бы неизбежно некоторого времени для передачи усилий, представить себе было невозможно.

Кулон был твердо убежден, что промежуточная среда во взаимодействии участия не принимает, взаимодействие происходит на расстоянии без ее участия и, следовательно, мгновенно.

Открытие закона взаимодействия электрических зарядов, в точности повторяющего *«по конструкции»* законы Ньютона и Кулона, утвердило французских физиков в справедливости концепции *«мгновенного дальнодействия»*.

Теории великих французов были прекрасно математически обработаны и, в общем, выстраивались в довольно изящную и цельную теорию.

Воззрения Фарадея в корне расходились с такими представлениями, так как он не знал математики. Это был, по выражению Эйнштейна, *«ум, который никогда не погрязал в формулах»*.

Максвелл писал впоследствии: *«Может быть для науки является счастливым обстоятельством то, что Фарадей не был собственно математиком, хотя он был в совершенстве знаком с понятиями пространства, времени и силы. Поэтому он не пытался углубляться в интересные, но чисто математические исследования, которых требовали его открытия. Он был далек от того, чтобы облечь свои результаты в математические формулы, либо в те, которые могли бы дать начало новым начинаниям. Благодаря этому он получил досуг, необходимый для работы, соответствующей его духовному направлению, смог согласовать идеи с открытыми им фактами и создать если не технический, то естественный язык для выражения своих результатов»*.

И вот этим-то *«если не техническим, то естественным»* языком смог выразить Фарадей сложнейшие понятия, которые легли в основу максвелловской теории. Реалистически мыслящий Фарадей, докапывающийся до самых основ, проверяющий всех и вся, органически не мог примириться с теориями великих французов, касающихся мгновенной передачи действия на расстоянии от одного тела к другому без посредства промежуточной среды. Он был абсолютно убежден в том, что материя не может действовать там, где ее нет. Поэтому Фарадею понадобилась какая-то материальная среда, заполняющая даже *«пустое»* пространство и через которую от точки к точке передается электрическое и магнитное воздействие.

Среду, через которую передается воздействие, Фарадей назвал *«полем»*. Поле, считал он, пронизано магнитными и электрическими *«силовыми линиями»*.

Увидеть силовые линии, по Фарадею, очень просто. Например, чтобы увидеть магнитные силовые линии, достаточно насыпать железные опилки на бумагу и поднести снизу магнит. Электрическое поле можно *«увидеть»*, если продолговатые кристаллики какого-либо диэлектрика (например, кристаллы хинина) взболтать («взму-

тить») в какой-либо достаточно вязкой жидкости (например, в касторовом масле): кристаллики в электрическом поле образуют картину, напоминающую опилочную. Силовые линии одновременно определяют направление и величину силы, действующей на заряд.

«Фарадей, – писал Максвелл, – *своим мысленным оком видел силовые линии, пронизывающие все пространство. Там, где математики видели центры напряжения сил дальнодействия, Фарадей видел промежуточный агент. Где они не видели ничего, кроме расстояния, удовлетворяясь тем, что находили закон распределения сил, действующих на электрические флюиды, Фарадей искал сущность реальных явлений, протекающих в среде».*

Стремление выяснить природу электрического тока привело его к экспериментам по прохождению тока через растворы кислот, солей и щелочей. Результатом этих исследований было открытие в 1833 году законов электролиза или Фарадея. Кроме большого практического значения, эти законы стали также существенным аргументом в пользу дискретного характера электричества. Он ввел такие понятия как: катод, анод, ион, электролиз, электролит, электрод (1834 г.), изобрел вольтметр (1833 г.). В 1845 г. открыл диамагнетизм и в 1847 г. – парамагнетизм. Обнаружил явление вращения плоскости поляризации света в магнитном поле (1845 г. – эффект Фарадея). Это было первым экспериментальным доказательством связи между светом и магнетизмом и положило начало магнитооптике. В работах Фарадея по электромагнетизму особенно важным является понятие поля. В 1845 г. он употребил термин «магнитное поле», но отчетливо сформулировал свою концепцию поля в 1852 г. По мнению А. Эйнштейна, идея поля была самой оригинальной идеей Фарадея, самым важным открытием со времен Ньютона. У Ньютона и у других ученых пространство выступало как пассивное вместилище тел и электрических зарядов, у Фарадея же пространство участвует в явлениях.

В 1843 г. Фарадей экспериментально подтвердил закон сохранения зарядов; в 1846 г. в мемуарах *«Мысли о лучевых колебаниях»* высказал идею об электромагнитной природе света. В 1837 г. обнаружил влияние диэлектриков на электрическое взаимодействие (поляризацию диэлектриков) и ввел понятие диэлектрической проницаемости. Близко подошел к открытию закона сохранения и превращения энергии, высказав (1840 г.) мысль о единстве сил природы (различных видов энергии) и их взаимном превращении.

Фарадей умер 25 августа 1867 г. Прах Фарадея покоится на Хайгетском кладбище в Лондоне. Имя и дела его бессмертны.

Одним из первых, кто по достоинству оценил Фарадея, был Максвелл: *«Мы прежде всего рассматриваем Фарадея, как наиболее полезный и одновременно наиболее благодатный тип ученого. Фарадей является и навсегда останется творцом того общего учения об электромагнетизме, которое рассматривает с единой точки зрения все явления, изучавшиеся прежде в отдельности, не говоря уже о тех явлениях, которые открыл сам Фарадей, следуя своему убеждению о единстве всей науки».*

Максвелл не только оценил, но и дальше развил идеи Фарадея. В 1865 г. им была создана теория электромагнитного поля.

Открытия Фарадея основаны на исследованиях предыдущих ученых, а его исследования, в свою очередь, побудили к новым открытиям других ученых, инженеров, исследователей. Очень часто ученые открывают новое, оглянувшись в прошлое.

Современники Фарадея английский физик Д. Джоуль (1818-1889 гг.) и русский ученый Э. Х. Ленц (рис. 37, *а*) одновременно и независимо друг от друга вывели закон, определяющий тепловое действие электрического тока – закон Джоуля-Ленца:

$$Q_{Д-Л} = 0{,}24 \cdot I^2 \cdot R \cdot \tau,$$

где I – сила тока, протекающего по проводнику, А; R – сопротивление проводника, Ом; τ – время протекания тока по проводнику, с.

Эмилий Христианович Ленц родился в г. Дерпте (ныне Тарту). Учился в Дерптском университете, а научную деятельность начал как географ, участвуя в качестве физика в кругосветном плавании (1823-1826 гг.) Отто Евстафьевича Коцебу и других экспедициях.

В 1828 г. Э. Х. Ленц получил звание адъюнкта Академии наук и начал работать в Санкт-Петербурге, где от физической географии переквалифицировался на электромагнетизм. В 1834 г. его избрали академиком и, кроме того, он возглавил кафедру физики и физической географии в Петербургском университете, занимая эту должность до конца жизни. В течение ряда лет Э. Х. Ленц был деканом физико-математического факультета, а в 1863 г. был избран ректором университета. После смерти Василия Владимировича Петрова Э. Х. Ленц возглавил Физический кабинет Академии наук. Кроме этого преподавал в Морском корпусе (1835-1841 гг.), Михайловской артиллерийской академии (1848-1861 гг.) и Педагогическом институте (1851-1859 гг.).

а *б*

Рис. 37. Эмилий Христианович Ленц (1804-1865 гг.) (а) и прибор, который использовал Ленц в своих опытах (б)
(URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/; http://lib.alnam.ru/)

В то время в университете практиковалось чтение лекций по определенным, часто иностранным учебникам. Э. Х. Ленц читал лекции по своим работам. В расписании 1836-1837 учебного года значилось:

«… Щеглов (адъюнкт) – физика невесомых тел с теорией теплорода и электричества (обыкновенного и гальванического) по Пекле с изменениями из других авторов;

Ленц (профессор) – теория электродинамических явлений по собственным запискам».

Основные работы Э. Х. Ленца относятся к электромагнетизму. В 1833 г. он установил правило определения направления электродвижущей силы индукции, так называемый сегодня закон (правило) Ленца, а в 1842 г., независимо от Дж. Джоуля – закон теплового действия электрического тока, так называемый сегодня закон Джоуля-Ленца.

Совместно с Б. С. Якоби впервые разработал методы расчета электромагнитов в электрических машинах, открыл обратимость электрических машин и установил существование в них «реакции якоря».

В электродинамике, в учении об электромагнетизме и об индукции существует множество правил, определяющих направления того или иного действия. Сюда относятся: правило об амперовском *«наблюдателе»*, о максвелловском *«пробочнике»*, правило *«правой руки»* Флеминга и некоторые другие. Все они носят чисто кинематический характер. В отличие от них правило Ленца отображает не-

который динамический строй мыслей: какое-нибудь действие рассматривается с точки зрения тех сил, которые его могут произвести. Утверждается, что при индукции возникнет ток, противоположный тому, который производит то же действие. Например, ток А притягивает ток В, тогда, если во втором проводе не будет тока, а мы его будем приближать к первому, во втором возникнет ток, который будет стремится оттолкнуться от первого, то есть производит действие, противоположное тому, которое его вызывает.

Этот динамический характер правила Ленца, который выделяет его из многих упомянутых выше правил, предопределил и его дальнейшую судьбу – то большое будущее, которое ему предстояло пережить в истории физики вообще и в электричестве в частности.

Не менее важно то, что Э. Х. Ленц впервые ясно осознал и точно сформулировал правило направления ЭДС, которое впоследствии стало альфой и омегой электрического машиностроения.

Правило, установленное Ленцем, помогло решению еще одной насущной задачи теоретической и практической физики. Речь идет о точных магнитных измерениях – измерениях магнитной напряженности, намагничивания железа, магнитных потоков и т.п. Э. Х. Ленц одним из первых предложил измерять величину магнитного потока индукционными действиями, которые производят создание или исчезновение потока, именно поэтому его следует назвать одним из авторов индукционных измерительных приборов.

На этих самых первоначальных основах учения об индукции Э. Х. Ленц, однако, не остановился – он обратился к исследованию целого ряда вопросов в работе *«О зависимости величины индукционных токов от скорости вращения машины»*. Э. Х. Ленц собрал обширный экспериментальный материал, умело и остроумно сгруппировал его результаты и выдвинул объяснение, которое оказалось в согласии со всеми наблюдаемыми особенностями явления и сделало честь его необыкновенной научной проницательности. Э. Х. Ленц догадался о существовании явления, называемого ныне реакцией якоря при индукции в нем тока. Исходя из этого представления, он предсказывал ход явления в зависимости от быстроты вращения и находил в опыте полное подтверждение этого предсказания.

Все это явилось заслугой одного Э. Х. Ленца, который больше десяти лет убеждал современников в важности для техники поднятого им вопроса, приводил объяснение тех разнообразных неудач, которые постигали экспериментаторов при попытках производить опыты с постоянным током, пользуясь не *«гальваническими»*, а *«машинными»* источниками, – и наталкивался на непонимание и

недооценку явления. А когда его поняли, то постарались забыть имя автора. Во всяком случае, предложенное Э. Х. Ленцем смещение щеток относительно нейтральной линии коллектора является теперь общепринятым средством в электротехнике и без него не обходится ни одна современная силовая установка.

Имя Ленца непосредственно связано с распространением закона сохранения энергии на область явлений электромагнитной индукции – шаг неизмеримого значения в науке и технике. Его следует с полным основанием причислить к тем немногим деятелям науки, которые явились прямыми и необходимыми предшественниками величайшего обобщения XIX в. – закона сохранения энергии, одного из важнейших законов современного естествознания. Формулировка этого закона стала общеизвестной: сумма всех видов энергии изолированной системы есть величина постоянная.

Другой классический труд Ленца – исследования относительно нагревательного действия токов – относится к 1843 г., то есть, непосредственно примыкая по времени к соответствующему исследованию Джоуля.

Напомним, что в то историческое время не существовало даже тех научных предпосылок, которые были бы нужны для создания подобных приборов, не говоря уже о том, что техника еще не освоила ни электрических генераторов, ни двигателей, а потому промышленность не нуждалась в таких приборах.

В частности, не существовало еще настоящих гальванометров, а примитивные приборы этого рода назывались мультипликаторами. Было теоретически известно, что тангенс угла отклонения стрелки при известных условиях пропорционален величине силы тока, проходящего через катушки гальванометра, но в справедливости этого правила существовали многочисленные сомнения. И вот Э.Х. Ленц сам мастерит гальванометр, проверяет на разные лады правило тангенсов и только после этого приступает к решающим измерениям. На пути его стала, однако, еще одна серьезная трудность: знаменитый закон Ома, открытый лет пятнадцать тому назад, еще не вошел во всеобщее сознание как основной и несомненный закон природы. Здесь следует напомнить, что и Фарадей его не знает и к нему не прибегает. Деятели науки высказывают сомнения в его правильности, когда речь идет о переходе тока из твердого тела в жидкость, и подозревают существование особого «сопротивления перехода». И Ленцу для придания убедительности своим результатам приходится посвящать длинный ряд опытов опровержению такого воззрения, или, по крайней мере, доказательству того,

что если такое сопротивление и существует, то оно должно обладать странным свойством – быть не обратно, а прямо пропорциональным поперечному сечению соприкасающихся проводников.

Ленцу удалось собрать фундаментальные данные для решения вопроса и доказать свои основные положения: 1) выделяемое током тепло пропорционально сопротивлению проводника и не зависит от каких-либо других свойств последнего; 2) оно пропорционально квадрату силы тока.

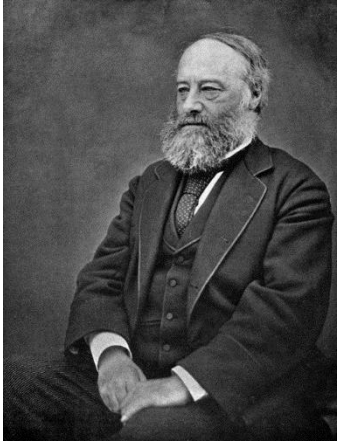
Это и был закон Джоуля-Ленца, выведенный Э. Х. Ленцем в 1844 г., независимо от Джоуля, путем более точно поставленных экспериментов.

Еще один цикл работ Э. Х. Ленца относится к совместным исследованиям с Б. С. Якоби, посвященным вопросу о действии электромагнитов, разрешив который были установлены условия, от которых зависит подъемная сила магнита.

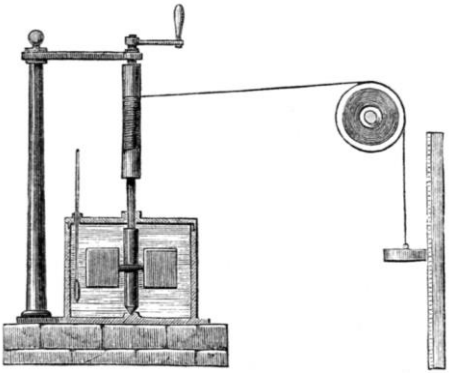
Исследования Э. Х. Ленца легли в основу грандиозного здания современного учения об электричестве и важнейших разделов практической электротехники.

Джеймс Джоуль родился в Манчестере (рис. 38, *а*). По профессии он был пивоваром, а его первые работы в физике связаны с изобретением электромагнитных аппаратов, которые были ярким примером превращаемости физических сил.

Дж. Джоуль был прекрасным экспериментатором. Исследуя закон выделения теплоты электрическим током, он понял, что опыты с гальваническими источниками не дают возможности ответить на вопрос, какой вклад в нагрев проводника вносит переносимая теплота химических реакций, а какой – сам ток, и решил ставить опыты с индукционным током. Вот тогда-то и был открыт закон Джоуля-Ленца.



а



б

Рис. 38. Джеймс Джоуль (1818-1889 гг.) (а) и его установка для измерения механического эквивалента тепла (1847 г.) (б)
(URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/; http://www.juliantrubin.com/)

В результате многочисленных экспериментов Дж. Джоуль пришел к выводу, что теплоту можно получать с помощью механических сил. Заменив ручное вращение катушки вращением с помощью падающего груза (рис. 38, *б*), груз, расположенный справа, заставлял лопасти, погруженные в воду, вращаться, в результате чего вода нагревалась, Джоуль нашел в 1843 г. механический эквивалент теплоты, который впоследствии он определял различными способами.

Наиболее точное значение механического эквивалента, найденное Дж. Джоулем, равно 424,3 кГс·м/ккал, что было определено с точностью почти 97%. Оно было получено из опытов по нагреванию воды в калориметре с помощью падающих грузов. Опыты Джоуля просты по идее и описанию, но в каждом из них можно найти какую-нибудь экспериментальную тонкость. Например, в последнем, о котором шла речь выше, для предотвращения движения всей массы воды к боковым стенкам калориметра в радиальном направлении были прикреплены четыре ряда пластинок, а в целях теплоизоляции металлическая ось разделена на две части деревянным цилиндром и т.д.

Джоуль внес большой вклад в кинетическую теорию газов, открыв вместе с Томсоном эффект изменения температуры газа при его расширении, сегодня называемый эффектом Джоуля-Томсона. Из работы Дж. Джоуля непосредственно следовало, что теплота не является веществом, и она состоит в движении частиц. Все это,

несомненно, способствовало утверждению и признанию закона сохранения и превращения энергии, открытие которого явилось величайшим завоеванием науки XIX в.

Значение этого закона для науки трудно переоценить. На основе законов сохранения, и в частности закона сохранения и превращения энергии, в науке и технике производятся различные расчеты, предсказываются новые эффекты и явления, с материалистических позиций оцениваются открытия в науке и технике. Если, скажем, новая теория или проект некоторого технического решения не противоречат закону сохранения и превращения энергии, то это служит убедительным аргументом в их пользу. История физики имела дело с сотнями разнообразных, порою очень оригинальных машин, предложенных разными авторами в качестве нового вечного двигателя, но сегодня нам ясно, что работать они не могли, ибо их создание противоречило закону сохранения и превращения энергии.

Открытие электромагнетизма привело Павла Львовича Шиллинга (рис. 39, *а*) к изобретению электромагнитного телеграфа в 1829 г.

Павел Львович Шиллинг родился в Ревеле (Таллин) 5 (16) апреля 1776 г. В 1797 г. поступил в Первый Кадетский корпус в Петербурге, который закончил в 1802 г. и в чине подпоручика был зачислен в Генеральный штаб русской армии. В 1803 г. обстоятельства вынуждают Шиллинга оставить военную службу и перевестись в Коллегию иностранных дел, где он работал переводчиком в русском посольстве в Мюнхене и здесь познакомился с работами Земеринга, построившего электрохимический телеграф. На одном конце линии стояли гальванические элементы, а на другом – сосуды с электролитом. При включении линии в сосудах начиналась реакция с выделением газа. У Земеринга была возможность передачи 27 сигналов (27 линий). Была и отдельная линия с выходом на звонок для привлечения внимания человека, принимающего сигналы.

В период Отечественной войны 1812-1814 гг. проявилась одна из замечательных черт характера П. Л. Шиллинга – высокий патриотизм, безграничная любовь и преданность России. После двукратного ходатайства он получил назначение штабс-ротмистром 3-го Сумского драгунского полка в действующую армию. За храбрость, проявленную в боях, Шиллинг в 1814 г. награжден первым боевым орденом, а затем одной из самых почетных наград – саблей с надписью *«За храбрость»*.

После окончания в 1814 г. Отечественной войны ничто не понуждало П. Л. Шиллинга оставаться в армии, и он подал прошение

о возвращении его с военной службы в Коллегию иностранных дел, которую Барклай-де-Толли поддержал, и Шиллинг возвратился к своим занятиям.

Рис. 39. Павел Львович Шиллинг (1786–1837) (а), первый электромагнитный телеграф Шиллинга внешний вид (б), схема телеграфа (в):

1 – вольтов столб; 2 – клавиатура (передатчик); 3 – приемник; 4 – обратный провод; 5 – шесть рабочих мультипликаторов и один вызывной (URL: http://school-collection.iv-edu.ru/; http://beliyyaradm.ru/)

В последующие годы П. Л. Шиллинг интересовался состоянием физических наук, работал над созданием электромагнитного телеграфного аппарата и вопросами взрыва подземных и подводных бомб на расстоянии с помощью электрических запалов.

Эрстед открыл действие электрического тока, проходящего по проводнику, на расположенную вблизи магнитную стрелку. Швейгер обнаружил, что если магнитную стрелку поместить внутри рамки, состоящей из нескольких витков проводника, обтекаемого

током, то действие тока на магнитную стрелку значительно усиливается. Стерджен сконструировал электромагнит и сделал другие изобретения, которые создали предпосылки для успешного решения проблемы передачи сообщений с помощью электрических сигналов.

Во многих странах в то время занимались вопросами электрического телеграфирования, однако именно П. Л. Шиллинг первым создал практически пригодный электромагнитный телеграфный аппарат (рис. 39, *б*). Публичная демонстрация состоялась 21 октября 1832 г. в квартире П.Л. Шиллинга на Царицином Лугу в Петербурге. На доме сохранилась установленная Русским техническим обществом в 1886 г. в связи со 100-летием со дня рождения выдающегося ученого мемориальная доска со следующей надписью: *«Здесь жил и умер русский изобретатель электромагнитного телеграфа Павел Львович Шиллинг»*.

В основу действия первого телеграфного аппарата Шиллингом положено явление отклонения магнитной стрелки в результате действия электрического тока. Аппарат состоял из клавиатурного передатчика и шестистрелочного приемника. Передатчик и приемник соединялись линией из восьми проводов. В приемнике семь проводов включались в мультипликаторы, состоящие из рамок с обмотками, при прохождении тока по которым отклонялись соответствующие стрелки, восьмой же провод был общий.

Передатчик представлял собой небольшой прибор с восемью парами белых и черных клавишей (рис. 39, *б*). Шесть пар основных белых и черных клавишей передатчика соединялись шестью линейными проводами с обмотками шести мультипликаторов приемника и подключали к одному из двух полюсов батареи. Седьмая пара клавишей, соединявшаяся проводом со вспомогательным мультипликатором приемника, служила для передачи звонкового сигнала вызова. Вторые выводы от всех мультипликаторов приемника соединялись общим проводом с восьмой общей парой клавишей передатчика и вторым концом батарей. Таким образом, для передачи в определенный мультипликатор приемника аппарата тока одного направления необходимо было на клавиатуре передатчика одновременно нажать соответствующую основу и общую клавишу, причем обе клавиши должны быть одного цвета. Для передачи в тот же мультипликатор тока противоположного направления нажимались такие же пары клавишей, только другого цвета.

Приемник аппарата состоял из шести основных мультипликаторов, смонтированных на общей раме. Каждый мультипликатор

представлял собой устройство с так называемой астатической системой, состоящей из двух магнитных стрелок с противоположным размещением полюсов, что практически исключало влияние земного магнетизма, и которые были подвешены на общей шелковой нити к медной стойке. Нижняя магнитная стрелка находилась внутри рамки с обмоткой мультипликатора. Для удобства наблюдения за поворотом соответствующей пары стрелок в мультипликаторе на той же нити был укреплен тонкий контрольный сигнальный диск диаметром 15 мм, который с одной стороны был окрашен в черный цвет, а с другой – в белый.

При прохождении тока по обмотке рамки мультипликатора нижняя магнитная стрелка, а следовательно, и ее сигнальный диск поворачивались в ту или другую сторону, в зависимости от направления тока в обмотке.

По числу повернувшихся черных и белых сигнальных дисков мультипликаторов, в соответствии с телеграфным кодом Шиллинга, легко определялась буква или цифра принятого сообщения.

Для демонстрации работы созданного аппарата П. Л. Шиллинг снял на время у владельцев дома, где он жил, весь этаж. Клавиатурный передатчик был установлен в одном конце этажа, где в небольшом зале собрались приглашенные, а приемник в другом конце этажа – в рабочем кабинете Шиллинга. Линейные провода имели длину, несколько превышающую 100 м. Телеграмма, состоявшая из десятка слов, на глазах у собравшихся была принята быстро и без искажений, что произвело на присутствующих огромное впечатление.

П. Л. Шиллинг, начиная с 1811 г. и до конца своей жизни занимался еще одним важнейшим вопросом – созданием линии, практически пригодной для передачи электрических сигналов по изолированному проводу. При монтаже телеграфного аппарата медные провода изолировались шелком или просмоленной пенькой. Так, обмотка мультипликатора была выполнена медным проводом, покрытым одним слоем шелковой пряжи, а соединения между мультипликаторами – медным проводом, покрытым слоем пеньки, густо пропитанной озокеритом.

Для прокладки между станциями телеграфной линии в земле П. Л. Шиллинг применял такие же провода, как и для изобретенных им в 1812 г. электрических мин.

Так как передающая и приемная станции соединялись восьмипроводной линией, то все восемь проводов заключались в общую пеньковую изоляцию, а затем просмаливались. Провода же, предназначавшиеся для прокладки в воде, изолировались несколькими

слоями шелка или пеньки, причем провода, изолированные шелком, в таких случаях покрывались лаком.

В 1836 г. под руководством П. Л. Шиллинга была проложена первая экспериментальная подземная телеграфная линия между крайними помещениями здания Адмиралтейства в Петербурге, которая действовала больше года. В этом же году П. Л. Шиллинг предложил линейные провода между телеграфными станциями подвешивать на деревянных опорах.

В следующем году П. Л. Шиллинг начал работу по проекту новой подводной телеграфной станции связи между Петербургом и Кронштадтом, однако она не была завершена в связи со смертью Павла Львовича.

Известны также опыты П. Л. Шиллинга по взрыванию мин с помощью электрического тока. В 1812 г. П. Л. Шиллинг демонстрировал в Петербурге взрывание мин электрическим током и на поверхности и под водой (*«… взрывал на Неве мины сквозь воду»*). В 1815 г. эти опыты демонстрировались и Париже, причем провода пересекали Сену. Однако внимание к электродистанционному взрыванию появилось только после русско-турецкой войны 1825-1827 гг., когда появилась необходимость проведения минных работ при осаде крепостей. П. Л. Шиллинг предлагал также применение подводных самодвижущихся мин, но взрывание производилось по проводам. Здесь следует отметить, что гальваноударное взрывание было предложено Б. С. Якоби; 25 (6) июля 1837 г. изобретатель электромагнитного телеграфа со всеми почестями был похоронен на Смоленском кладбище в Петербурге.

На открытие П. Л. Шиллингом телеграфа А. С. Пушкин написал *«О, сколько нам открытий чудных готовит просвещенья дух...»*.

Электромагнитным телеграфом также занимались: К. Гаусс (1777-1855 гг.), В. Вебер (1804-1891 гг.), Б. С. Якоби (1801-1874 гг.), С. Морзе (1791-1872 гг.). Г.Р. Кирхгоф (1824-1887 гг.) в 1845 г. написал работу о протекании электрического тока через плоскую пластину и сформулировал в этой области два фундаментальных закона.

Предложенные идеи Фарадея Джеймс Клерк Максвелл (рис. 40) облек в ясную точную математическую форму. Дж. К. Максвелл создал математический фундамент теории электромагнитных взаимодействий – четыре уравнения, четыре аксиомы, которые вот уже более ста лет не подвергаются сомнению в ученом мире.

Рис. 40. Джеймс Клерк Максвелл (1831-1879 гг.)
(URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/)

Приведем ниже упрощенный вид этих уравнений.

1) Круговое изменение вектора напряженности магнитного поля H порождает электродвижущую силу – электрическую индукцию D, а следовательно, и определенную плотность тока j:

$$rot\vec{H} = \frac{4 \cdot \pi}{c} \cdot \vec{j},$$

где c – скорость света.

2) Круговое изменение вектора напряженности электрического поля E порождает магнитную индукцию B:

$$rot\vec{E} = -\frac{1}{c} \cdot \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}.$$

3) Электрическая индукция D зависит от диэлектрической проницаемости ε и вектора напряженности электрического поля E:

$$\vec{D} = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \vec{E}.$$

4) Магнитная индукция B зависит от магнитной проницаемости μ и вектора напряженности магнитного поля H:

$$\vec{B} = \mu \cdot \mu_0 \cdot \vec{H}.$$

Джеймс Клерк Максвелл – английский физик, член Эдинбургского (1855 г.) и Лондонского (1861 г.) Королевских обществ. Родился в Эдинбурге, учился в Эдинбургском (1847-1850 гг.) и Кембриджском (1850-1854 гг.) университетах. В 1856-1860 гг. – профессор Абердинского университета, в 1860-1865 гг. – Лондонского Королевского колледжа, с 1871 г. – первый профессор экспериментальной физики в Кембридже.

Самым большим научным достижением Максвелла является созданная им в 1860-1865 гг. теория электромагнитного поля, которую он сформулировал в виде системы нескольких уравнений

(уравнения Максвелла), выражающих все основные закономерности электромагнитных явлений.

В своей теории электромагнитного поля Максвелл использовал новое понятие – ток смещения (1861 г.), дал (1864 г.) определение электромагнитного поля и предсказал (1865 г.) новый важный эффект существования в свободном пространстве электромагнитного излучения (электромагнитных волн) и его распространение в пространстве со скоростью света. Последнее дало ему основание считать (1865 г.) свет одним из видов электромагнитного излучения (идея электромагнитной природы света) и раскрыть связь между оптическими и электромагнитными явлениями.

Особенное впечатление произвела на Максвелла книга Фарадея *«Экспериментальные исследования по электричеству»*. Двадцатилетний Максвелл встретился, наконец, со своей ровесницей – теорией Фарадея, не особенно жалуемой великолепными учеными за свой плебейский наряд, начисто лишенный математической мишуры. Но на проницательного Максвелла, видевшего вещи гораздо глубже своих современников, эта книга произвела неизгладимое впечатление. «*Я решил,* – писал он, – *не читать ни одного математического труда в этой области, покуда не изучу достаточно основательно «Экспериментальных исследований по электричеству»*.

К фарадеевской концепции *«поля»* Максвелл присоединился безоговорочно, нравились ему и силовые линии Фарадея. Максвелл видел, что Фарадей постепенно отходит от силовых линий как геометрических символов к вполне реальным силовым линиям, обладающим упругостью, стремящимся пройти по кратчайшему пути, отталкивающимся друг от друга. Максвелл принимает целиком идею кругового магнитного поля, окружающего провод с электрическим током. Ученый отдал теории электромагнитного поля полжизни. Математические формулы, о которых идет речь, изучаются современными студентами в курсах высшей математики и теоретической электротехники.

Итак, Ампер и Фарадей считали, что электрический ток окружен магнитным полем. Максвелл решает записать этот тезис в уравнении:

$$rot\vec{H} = \frac{4 \cdot \pi}{c} \cdot \vec{j},$$

где H – вектор напряженности магнитного поля; j – вектор плотности электрического тока, в который Максвелл включает и никем

пока не наблюдавшийся «ток смещения» (это ток, который обусловлен смещением электрических зарядов на границе «проводник-диэлектрик» (например, ток через конденсатор); *c* – некоторая постоянная.

Обозначение *rot* – сокращение от слова *rotor* – вихрь, Максвелл же использовал слово *curl* – завиток; операция *rot* грубо говоря, показывает в данном случае, что вектор напряженности магнитного поля *H* вращается вокруг вектора тока плотностью *j*.

Другой, сразу завоевавшей признание Максвелла идеей, стало представление Фарадея о природе электромагнитной индукции – то есть возникновение электричества в контуре, число магнитных силовых линий в котором изменяется то ли вследствие относительного движения контура и магнита, то ли вследствие изменения магнитного поля. Эта зависимость также вполне укладывалась во внешне формальные математические операции. После многолетних трудов Максвелл записал строку:

$$rot\vec{E} = -\frac{1}{c} \cdot \frac{\partial \vec{B}}{\partial t},$$

где *E* – вектор электрического поля; $\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ – изменение магнитного поля во времени; *c* – некоторая постоянная величина, о которой нам предстоит еще говорить**.**

Операция означает, грубо говоря, вращение вектора *E*, охват им некоторого источника, которым в данном случае является изменение магнитного поля *B*. В контуре, охватывающем источник изменяющегося магнитного поля, находится электродвижущая сила, а в пространстве возникает новое электрическое поле, что означает минус перед правой частью уравнения. Он тоже вполне физически обоснован – на основании закона, открытого русским физиком Э. Х. Ленцем, направление тока, возникающего в замкнутом контуре в результате электромагнитной индукции, таково, что ток препятствует изменению магнитного потока (инерция магнитного поля).

Но необходимо было учесть еще одно важное свойство векторов электрической *D* и магнитной *B* индукции, представляющих собой математическое обозначение электрических и магнитных силовых линий. В то время как электрические силовые линии начинаются и кончаются на зарядах, являющихся источниками поля, магнитные силовые линии располагаются кольцеобразно, а у кольца,

как известно, нет ни начала, ни конца, следовательно, силовые линии магнитного поля не могут где-то начинаться и где-то кончаться – они замкнуты сами на себя.

В математике для обозначения ситуации с источниками поля можно применить операцию *«дивергенция»*, а Максвелл использовал слово *«конвергенция»*.

Дивергенция – мера источника. Например, свеча – источник света обладает положительной дивергенцией, ночной мрак за окном, где свет рассеивается, поглощается, обладает дивергенцией отрицательной. Что касается оконного стекла, где число *«лучей»*, пришедших из комнаты, равно числу лучей, ушедших в темноту, то там дивергенция равна нулю. В стекле свет не создается и не поглощается, если оно, разумеется, достаточно прозрачное.

Поэтому Максвелл добавляет к двум имеющимся уравнениям еще два:

$$div\vec{D} = 4\pi \cdot \rho,$$

где ρ – плотность электрических зарядов;

$$div\vec{B} = 0.$$

Силовые линии электрического поля кончаются на зарядах, плотность которых ρ. Силовые линии магнитного поля не кончаются нигде – они замкнуты сами на себя.

Вот такая система уравнений появилась в результате работ Максвелла:

$$rot\vec{H} = \frac{4 \cdot \pi}{c} \cdot \vec{j};$$

$$rot\vec{E} = -\frac{1}{c} \cdot \frac{\partial \vec{B}}{\partial t};$$

$$div\vec{D} = 4\pi \cdot \rho;$$

$$div\vec{B} = 0.$$

Четыре строчки этих простых уравнений составляют уравнения Максвелла, а система взглядов, которая легла в основу уравнений, получила название *«максвелловой теории электромагнитного поля»*.

Теория Максвелла – триумф идей Фарадея. Максвелл, по выражению Роберта Милликена – *«облек плебейски обнаженные представления Фарадея в аристократические одежды математики»*, а советский физик Т.П. Кравец по этому поводу заметил: *«Если мы теперь освоились с системой воззрений Фарадея, если его электромагнитное поле стало одним из наших основных знаний, если его*

система превратилась в стройную теорию и получила адекватное математическое выражение, то это заслуга Максвелла и только Максвелла».

Замечание Генриха Герца о *«самостоятельной жизни уравнений Максвелла, о том, что они «умнее самого автора»*, стало подтверждаться сразу же после того, как Максвелл стал изучать свою систему, апробировать ее при решении различных задач.

Прежде всего, нужно было выяснить, что за постоянная величина *«втерлась в уравнения»*, в то же время происхождение других постоянных, входящих в уравнения: «четверка», «минус единица», число «пи» – было ясно, но что это такое *с*?

Применив уравнение к одному конкретному случаю, Максвелл нашел, что неизвестное число оказалось примерно равным отношению электромагнитной и электростатической единиц заряда – 300000 км/с.

Совпадение было слишком разительным, чтобы не принять его во внимание. Значение таинственного *с* было равно скорости света. Максвелл настолько глубоко верил в свои уравнения, что наличие физически неочевидного коэффициента его беспокоило. Он непрерывно думал о странном явлении, и уравнения *«думали»*. Рассмотрим первые два из них.

Согласно первому, любой ток вызовет возникновение магнитного поля в окружающих областях пространства.

Постоянный ток, например, вызывает возникновение вокруг него постоянного магнитного поля. Такое поле, однако, не сможет вызвать электрического поля в *«следующих областях»*, поскольку электрическое поле, согласно второму уравнению, возникает лишь при изменяющемся магнитном поле.

Но картина иная, если первоначальный ток – переменный. Вокруг переменного тока создается переменное магнитное поле, способное уже создать в «следующем» элементе пространства электрическое поле; то, в свою очередь, за счет «тока смещения» создает новое магнитное поле, а оно точно так же создает еще дальше электрическое поле. И так будет продолжаться до бесконечности.

Другими словами, электромагнитное поле, как с поразительной ясностью понял Максвелл, распространяется в виде волн, причем волны незатухающие – энергия магнитного поля в пустоте полностью переходит в энергию поля электрического и наоборот.

Но ведь в виде точно таких же *«поперечных»* волн распространяется и свет – и Максвелл сделал сразу два далеко идущих вывода.

Электромагнитное поле распространяется в пространстве в виде поперечных волн. Убежденный в универсальности своих уравнений, Максвелл показывает, что *«свет есть электромагнитное возмущение»*. Родство двух явлений предчувствовал еще Ломоносов, предлагавший осуществить соответствующий опыт, а Фарадей прямо доказал единую природу явлений, осуществив эксперименты по *«электромагнитному вращению света»*. Точно так же, как существуют излучения световые, должны существовать излучения электромагнитные.

Электромагнитные волны распространяются в пространстве со скоростью света, то есть со скоростью 300000 км/с. Скорость распространения волны зависит от свойств среды.

Признание конечной, хотя и очень большой, скорости распространения электричества и магнетизма камня на камне не оставило в теории сторонников «мгновенного дальнодействия».

Теория электромагнитного поля Максвелла знаменовала собой начало нового этапа в физике. Именно на этом этапе развития физики электромагнитное поле стало реальностью, материальным носителем взаимодействия. Мир построен из электрически заряженных частиц, взаимодействующих посредством электромагнитного поля.

Большинство физиков исключительно высоко оценили теорию Максвелла. Пуанкаре считал ее вершиной математической мысли. *«Самым увлекательным предметом во время моего учения была теория Максвелла. Переход от сил дальнодействия к полям, как основным величинам, делал эту теорию революционной»*, – писал А. Эйнштейн.

По словам Луи де Бройля, Максвелл *«сделал всю оптику частной главой электромагнетизма»*. Максвелл показал функционирование электромагнитного поля как объективной реальности. Заслуга ученого в том, что он создал теорию поля, которое еще не было открыто (случай, когда теория опережает практику), и выразил ее при помощи символов. Само электромагнитное поле открыл значительно позже немецкий ученый Генрих Герц. На основе своей теории Максвелл предсказал существование давления, оказываемого электромагнитной волной, а значит и светом, и вычислил его. Оно оказалось равным плотности энергии электромагнитного поля. Предсказание Максвелла блестяще доказал экспериментально Петр Николаевич Лебедев в 1899 г.

Теория Максвелла привела к обогащению содержания таких философских понятий, как движение, взаимодействие, причинность. После выхода трактата *«Об электричестве и магнетизме»*, в

котором сформулирована максвелловская теория электромагнитного поля, Максвелл решает в целях популяризации и распространения своих идей написать книгу *«Электричество в элементарном изложении»*.

Максвелл работал над книгой, а самочувствие его становилось все хуже и хуже. Эдинбургский доктор, профессор Сэндерс, осмотрев ученого, объявил, что тот болен раком и что жить ему осталось не более месяца.

Максвелл спокойно перенес удар. Он вообще никогда ни на что не жаловался и поспешил в Кембридж, где его ждали рукопись книги и тяжелобольная жена; 5 ноября 1879 г. его не стало.

Концепция электромагнитного поля заняла положенное ей по праву важнейшее место во всех разделах физики, электротехники, медицины.

Еще в глубокой древности врачи иногда прописывали больным лечение *«ударами»* электрического ската в воде. Таким способом удавалось избавить больного от паралича. Вокруг возбужденного нерва возникало электромагнитное поле. Электрические *«удары»* электрического ската приводили возбужденный нерв в норму. Электрический скат и электрический угорь – живые фабрики электрического тока.

В России А. Т. Болотов (рис. 41) и И. П. Кулибин (рис. 42, *а*) создавали переносные емкостные электрические машины – *«лейденские банки»* для лечения больных и проведения психологических опытов. Много лет спустя были открыты электромагнитные поля у человека, возникающие в результате биоэлектрических сигналов.

А. Т. Болотов так писал о своем жизненном кредо: *«Работать, не думая о вознаграждении, делать добро, не ожидая благодарности»*. Перечислим только основные труды А. Т. Болотова:

– он дал человечеству главный принцип науки о лесе и его использовании, который лежит в основе всего мирового лесоустроительства – рубить леса столько, сколько возможно его посадить;

– опубликовал работу в 1766 г. о том, как сажать, выращивать и употреблять в пищу картофель (и это при том, что в то время о картофеле в России мало кто знал), мало того, он сам занялся выращиванием картофеля, чтобы накормить голодающий в то время в России народ, и получал урожай 900 ц/га. Французский картофелевод лишь через 17 лет поставил свои опыты с картофелем, получил урожай 400 центнеров с гектара, и за это только во Франции ему поставили четыре памятника, а о А. Т. Болотове все забыли;

– в 1770 г. А. Т. Болотов публикует статью *«Об удобрении земель»*, где пишет: *«… Все растения состоят из веществ, кои принадлежат к царству минералов… надобно в земле сим вещам и в довольном количестве находиться»*. Только через 70 лет, в 1840 г. Либих, который считается отцом агрохимии, публикует свою книгу, где излагает основы минеральной теории питания растений;

– А. Т. Болотов – основоположник науки о яблоках – помологии;

– А. Т. Болотов был врачом, знатоком трав и фармацевтом – составлял лекарства и успешно ими лечил. Одним из первых среди лекарей он применял электрические устройства, созданные совместно с талантливым русским изобретателем И. П. Кулибиным для лечения больных;

– А. Т. Болотов был выдающимся журналистом. Его перу принадлежат многочисленные статьи по сельскому хозяйству, медицине. Он много писал для детей, им написана первая детская научно-популярная книга *«Детская философия»*, в которой содержатся сведения по физике, минералогии, ботанике, астрономии, космогонии и др.

Рис. 41. Андрей Тимофеевич Болотов (1738-1833 гг.)
(URL: http://znaimo.com.ua/)

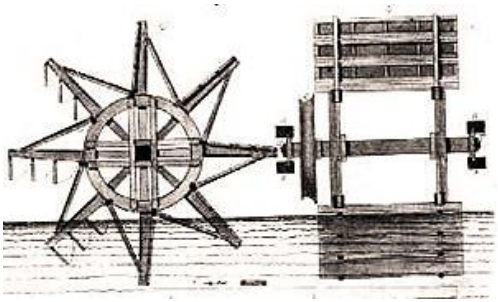
Умение размышлять – важнейшее качество специалиста, инженера, ученого; отыскивать закономерность, уметь увидеть, четко сформулировать проблему и стремиться найти ее решение – неотъемлемые черты работы исследователя.

Открытия, которые осуществляются людьми, не являются им свыше, они – плод тяжелого, упорного каждодневного труда. Приведем очень важное для каждого человека, особенно в наше время, высказывание А. Т. Болотова: *«Быть счастливым – это великое*

умение! Это внутреннее состояние души. И ежели трудом и размышлением, умением радоваться каждой секунде быстротекущей жизни человек овладеет, а не истратит жизнь на поиски материальных благ или на поиски счастья вне себя, то он сумеет не только прожить достойно и радостно, но и окружающих сделает счастливыми».

Иван Петрович Кулибин (рис. 42, *а*) – главный механик Петербургской академии наук, человек острого, ясного и технически изощренного ума. В 1773 г. он создал знаменитый проект деревянного одноарочного моста через Неву (300 м) из решетчатых ферм (рис. 2); первый выдвинул идею постройки мостов из железных ферм; создал водоходное судно, самодвижущийся экипаж, оптический телеграф и множество других конструкций.

а



б

Рис. 42. Иван Петрович Кулибин (1735-1818 гг.) (а), водяное колесо и ходовой вал водяных колес 1-го и 2-го машинного водоходного судна Кулибина (б)

(URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/; http://www.barque.ru/)

Здесь необходимо сказать несколько слов о царе Петре I. Петр Алексеевич – Петр I (1671-1725 гг.) – государь Руси, удивительный по своим талантам человек. Государь-просветитель, строитель государства, правитель – *«технарь»*, умевший охватить своим разумом множество разных сторон деятельности человека, его жизни.

По указу Петра I в 1714 г. были организованы цифирные математические школы в целом ряде городов России. Их закончили в свое время И. И. Ползунов, К. Д. Федотов и другие замечательные изобретатели.

Создавая Академию наук, государь заботился о том, чтобы в ней развивались технические науки; приглашал для обучения способной молодежи талантливых ученых из-за границы – братьев Бернулли, Эйлера и других; ратовал за распространение грамотности в народе, за развитие отечественной промышленности и ремесел.

Знание истории техники, энергетики, науки не только расширяет интеллектуальный кругозор человека, но и имеет большое практическое значение, особенно для специалиста. Знакомство с многообразием научных и технических решений прошлого стимулирует творческую активность, экономит силы и время инженера, исследователя, студента. Дает возможность использовать плодотворно те изобретения и открытия, которые не нашли в свое время практического применения из-за отсутствия потребности в них.

Контрольные вопросы

1. Какие преимущества перед другими видами энергии имеет электрическая энергия (электромагнитная)?
2. С каких времен и кем были обнаружены или использованы электрические явления?
3. Какие известны первые источники электричества, кем изготовлены?
4. Назовите имена первых исследователей магнитных свойств тел и электрических свойств заряженных тел.
5. Какие открытия помогла сделать «лейденская банка»? Кто работал с ней?
6. Какой вклад внес М. В. Ломоносов в исследование и применение электричества? Кто из ученых работал в это же время в области природного и искусственного электричества?
7. Какое открытие сделал Л. Гальвани, и на что оно натолкнуло А. Вольта?
8. Какие появились источники электричества в первой половине XIX в?
9. Кто открыл первые основные законы в области электричества в XVIII-XIX вв? Что это за законы?

3. ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА, РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЙ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

С открытием вольтова столба электрический ток стали применять для разнообразных практических целей, которые легли в основу развития электротехнологий: освещения, нагрева, разложения сложных химических веществ, металлических покрытий и др.

Со временем появлялись разнообразные источники электричества: гальванические, термоэлементы, динамо-машины, электрогенераторы и др. электрооборудование. Кроме постоянного тока появился однофазный переменный ток, получавшийся от электромагнитных генераторов, а позже – и трехфазный ток.

3.1. Из истории развития электролиза, гальванопластики и других направлений применения химического действия тока

Исследованию электрохимических явлений были посвящены труды Хемри Дэви (1778-1829 гг.), которые имели важное значение для последующего практического применения. Именно Х. Дэви доказал своими опытами несостоятельность мнений, господствовавших в то время среди ученых, что при электролизе соды на одном полюсе получается кислота, а на другом основание. Он же показал, что кислоты и основания, получаемые при электролизе, являются продуктами последующих вторичных реакций. Повторив опыты разложения воды в разных условиях (стеклянные, агатовые и золотые сосуды; в воздухе и в атмосфере водорода), Х. Дэви доказал, что пресная вода разлагается при электролизе только на кислород и водород, причем объем водорода, образовавшегося при этом, вдвое больше объема кислорода. Он установил, что химически чистая вода не поддается электролизу и что электрический ток только разлагает соединения, но не создает никаких новых соединений. Х. Дэви одним из первых высказал правильные взгляды на то, что электрический ток, полученный от вольтова столба, возникает в результате химических процессов между металлами и электролитом.

В 1807 г. Х. Дэви впервые получил электролитическим путем щелочные элементы – калий и натрий, ранее неизвестные в чистом виде; в 1808 г. им же были также получены магний, бор, барий,

стронций и кальций. Эти открытия наглядно иллюстрировали практическую ценность электролиза и еще больше усилили интерес ученых к химическим действиям тока.

В 1802-1807 гг. ряду ученых, в том числе профессору Московского университета Петру Ивановичу Страхову (1756-1827 гг.), удалось установить опытным путем, что земля и вода являются проводниками тока. Этим открытием была показана возможность применения земли и воды в качестве обратного (второго) провода при осуществлении установок и устройств для передачи электрического тока от генератора к приемникам.

В 1807 г. профессор Московского университета Федор Федорович Рейс (1778-1852 гг.) обнаружил явление, получившее впоследствии название электроосмоса. В выводах из своих опытов Ф. Ф. Рейс указывает, что под действием электричества жидкость может переноситься сквозь пористые тела. Явление электроосмоса в современной технике получило практическое применение, в частности при осушке намывных плотин (электродренаж).

Широкое применение вольтовых столбов и других источников электрического тока не могло не усилить интереса к вопросу о том, в результате каких действий в них появляется электрический ток. Все яснее становилось, что химические реакции в гальванических элементах являются первичными, а возникновение тока есть их следствие, т.е. явление вторичное. Контактная теория А. Вольта становилась малоубедительной, и ей все энергичнее стали противопоставлять химическую теорию гальванизма, согласно которой возникновение электричества определяется химическими процессами. Эта теория впервые наиболее четко была разработана петербургским академиком Георгом Парротом (1767-1852 гг.), считавшим, что явления в вольтовом столбе и других гальванических элементах происходят исключительно за счет окисления металлов, т.е. за счет изменения одного из веществ элемента. М. Фарадей также выступал против контактной теории электричества, указывая, что нет такого случая, даже при ударах электрического угря и ската, когда электричество получалось бы без затраты какого-либо другого вида энергии.

Многочисленные опыты по электролизу различных жидкостей вскоре привели к необходимости объяснения механизма электролиза, вызвали потребность в теоретических обоснованиях происходящих явлений. Теории электролиза были предложены рядом ученых, но наиболее приближающейся к современным воззрениям на процессы электролиза явилась теория электролиза литовского про-

фессора Теодора Гротгуса (1785-1822 гг.), которая была, по существу, первой ионной теорией электролитических явлений. Т. Гротгус в 1805 г. опубликовал *«Мемуар о разложении при помощи гальванического электричества воды, а также растворенных в ней тел»*.

Теория Т. Гротгуса была передовой для своего времени, она продержалась в науке более 70 лет, уступив место теории электролитической диссоциации. Известные законы электролиза были сформулированы М. Фарадеем в 1833-1834 гг. Им же были предложены термины электрод, анод, катод.

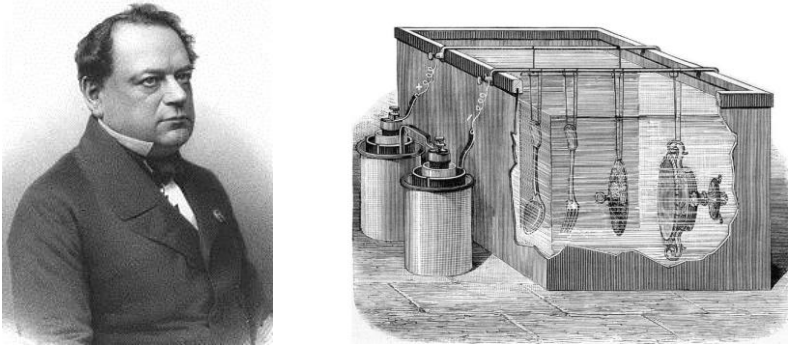
Все эти работы предопределили одно из первых практических применений электричества – металлизацию, т.е. осаждение тонкого слоя металла на поверхность изделия с помощью электрического тока. Существуют две разновидности приведенного явления – гальваностегия, то есть образование тонкого неотделяемого слоя осадка одного металла на другом под действием электрического тока, и гальванопластика, то есть воспроизведение копий различных предметов за счет массивных, в основном медных, отложений, впоследствии отделяемых от основы.

Гальванопластика. Идею металлизации высказал еще в середине XVIII в. М. В. Ломоносов, а в 1807-1808 гг., как уже говорилось, английский ученый Х. Деви получил электрохимическим способом неизвестные нучному миру прежде металлы – натрий, калий, кальций, стронций, барий. Практическое применение гальванопластики обосновал и реализовал Борис Семенович Якоби (рис. 43, *а*). В 1838 г. в Петербурге он провел первые опыты по гальванопластике, а в 1839 г. эти свойства электрического тока Якоби первым использовал для изготовления медных слепков с различных предметов. При этом он пользовался только металлическими токопроводящими матрицами. С тех пор гальванопластика стала широко внедряться в промышленность. В ставшем классическим труде по гальванопластике Б. С. Якоби писал: *«Гальванопластика основывается на известном и весьма замечательном свойстве электрических токов разлагать почти все сложные вещества на их составные части, в особенности же осаждать или восстанавливать металлы из растворов или каких-либо соединений»*.

Борис Семенович Якоби родился в г. Потсдаме и при рождении получил имя Морис-Герман. Обучался в Берлинском и Геттингенском университетах. В Геттингенском университете Б. С. Якоби получил диплом архитектора, что предполагало также знание строительного дела, машиностроения. В программу также входил обшир-

ный курс математики, включая раздел комбинаторики. Впоследствии Б. С. Якоби использовал эти знания при составлении телеграфных кодов.

Занимаясь вопросами улучшения качества гальванических элементов, Б. С. Якоби обнаружил, что в элементе Даниэля осевший на электроде слой меди можно легко снять и этот слой в точности повторяет очертания и подробности поверхности электрода. Это дает возможность получить негативную, а при повторном копировании и позитивную копию. Первой такой копией было воспроизведение медной монеты, что, кстати, могло рассматриваться как подделка денежного знака. Одновременно Б. С. Якоби предложил таким методом выполнять клише для печатания денег и ценных бумаг, что исключало неточности, допускаемые при гравировке, и облегчало обнаружение поддельных оттисков. Благодаря этому Борису Семеновичу удалось легко продвинуть свое изобретение в практику. Б. С. Якоби стал изобретателем гальванопластики.



а *б*

Рис. 43. Борис Семенович Якоби (1801-1874 гг.) (а) и гальваническая ванна (б)

(URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/; https://graciouswatch.com/electroplating/)

В 1840 г. Б. С. Якоби выпустил руководство под заголовком *«Гальванопластика или способ по данным образцам производить медные изделия из медных растворов с помощью гальванизма»*. Благодаря Якоби гальванопластика быстро нашла в России практическое применение – в изготовлении точных и во всем сходных между собой клише для печатания государственных бумаг, в том числе денежных знаков, чего нельзя было достигнуть простой гравировкой клише. В 1840 г. за изобретение гальванопластики Якоби получил от правительства России Демидовскую премию в 25000 руб. Практическим проведением в жизнь изобретения уче-

ного занимались, с одной стороны, Экспедиция заготовления государственных бумаг, с другой, Особая гальванопластическая мастерская.

В 1840 г. за изобретение гальванопластики Б. С. Якоби получил золотую медаль от Парижской академии, а в 1867 г. удостоен золотой медали на Парижской выставке.

В 1842 г. Б. С. Якоби на докладе в Академии наук показал выполненную методом гальванопластики статуэтку Наполеона, а также украшенный орнаментом стол, верхняя доска которого имела диаметр 76 см.

В 1844 г. было создано «Санкт-Петербургское гальванопластическое и художественной бронзы заведение», которое располагалось около Нарвских ворот и где, по способу Якоби, было сделано много скульптур и барельефов, украшающих до сих пор Зимний дворец, Исаакиевский собор, Главный штаб. Предложенными Б.С. Якоби способами гальванического золочения и серебрения были покрыты золотом медные листы для куполов храма Христа Спасителя.

В 1846 г. Б. С. Якоби сделал в Академии наук сообщение о возможности применения для осаждения *«гальванической»* меди магнитоэлектрической машины, то есть генератора постоянного тока, но это предложение было осуществлено лишь спустя много лет.

Б. С. Якоби, талантливый инженер и ученый, физик, электротехник, изобрел и создал электрический двигатель с вращательным движением, создал гальванотехнику, несколько типов электромагнитных телеграфов, применил электричество в минном деле и др.

Одним из первых последователей Якоби в России стал герцог Максимилиан Лейхтенбергский, внук Жозефины Богарне – жены Наполеона Бонапарта. Этот замечательный человек, ученый и технолог прожил всего 35 лет – с 1817 по 1852 г. В 1839 г. он женился на дочери царя Николая I. М. Лейхтенбергский был президентом Академии художеств в Петербурге, *«главнозаведующим»* Горным институтом, почетным членом Петербургской академии наук. В начале 1840 г. он при участии Якоби организовал в царском Зимнем дворце в Петербурге (ныне Эрмитаж) хорошо оборудованную гальваническую лабораторию, в которой проводил исследования. В 1842 г. на заседании Академии наук Б. С. Якоби, делая доклад о развитии гальванопластики, демонстрировал отлично выполненные, сложные и достаточно крупные по размеру изделия, полученные М. Лейхтенбергским в его лаборатории. В 1844 г. М. Лейхтенбергский, при ближайшем участии Якоби, открыл «Гальванопла-

стическое, литейное и художественной бронзы механическое заведение» – один из первых гальванических заводов в России, на котором получили широкое промышленное применение процессы электроосаждения меди, золота и серебра. Здесь же впервые были созданы крупные заводские цеха металлопокрытий и гальванопластики, а также смонтировано первое промышленное оборудование и осуществлены процессы гальваники в широких промышленных масштабах. М. Лейхтенбергский писал: *«Я устроил в Санкт-Петербурге заведение, в котором изготовляются всякого рода предметы гальванопластическим способом… Цель этого заведения – дать гальванопластике на самой родине ее, в России, возможность применения в больших размерах со всеми теми успехами, которые она сделала со дня своего рождения, и довести ее до самой высшей степени совершенства в артистическом и промышленном отношении».* Гальванопластическим способом с применением медно-чеканной техники были выполнены статуи, гирлянды цветов и плоды, фигуры апостолов и ангелов, барельефы и головки херувимов для уникального в архитектурном и художественном отношениях Исаакиевского собора в Петербурге, медные кони для Большого театра в Москве, которые и сейчас его украшают, статуи и барельефы Эрмитажа и Зимнего дворца в Петербурге. На заводе были проведены также грандиозные работы по меднению, золочению, а также по серебрению. Достаточно сказать, что ежемесячно осаждали до 32 кг серебра и золотили до 440 м^2 поверхности.

В 1847 г. в заведении имелось три ванны для золочения: две – вмещавшие по 1400 л цианистого электролита, и одна – на 2700 л. Источниками тока служили гальванические элементы, сконструированные самим М. Лейхтенбергским.

Герцог М. Лейхтенбергский сочетал в себе множество качеств: ученого, бизнесмена, технолога и инженера, постоянно работая над совершенствованием технологических процессов, в частности, пытался установить закономерности промышленного процесса золочения, выявить условия электролиза и состав электролита, позволяющие получать наиболее качественные покрытия. На основе этих исследований герцог сделал доклад и опубликовал в 1849 г. статью в *«Бюллетенях»* Академии наук *«О фабричном способе гальванического золочения в широком масштабе и некоторых сделанных по этому поводу научно-технических наблюдениях»*. Лейхтенбергский, по-видимому, один из первых в 1847 году указал на электрохимический путь рафинирования меди и высказал предположение, что электролиз даст возможность из меди, содержащей золото и серебро, выделить последние.

После смерти герцога Лейхтенбергского (1852 г.) заводом управляли генералы Фуллон и затем Рашет, а позднее завод перешел к Обществу железных дорог, которое продало отдельные цеха. Гальванопластический цех приобрели французы Генке, Плеске и Моран и в 1857 г. они производили золочение шпиля колокольни Петропавловского собора, но вскоре в Париже был открыт новый завод, целиком перенявший опыт русской технологии гальванопластики.

В распространении практических знаний и в подготовке специалистов по гальванопластике и гальванотехнике особенно заметная роль в ту пору принадлежала первому в своем роде учебному заведению – гальванопластическому классу при Рисовальной школе в Петербурге, который был основан в начале 1842 г. по инициативе Министра финансов России Е. Ф. Канкрина. Хорошо оборудованная лаборатория для практических занятий была размещена в двух комнатах. Все материалы, необходимые для занятий, вплоть до платины, золота и серебра, предоставлялись школой безвозмездно.

Гальванопластический класс объединил вокруг себя ряд активных деятелей Петербурга в области гальванопластики. Сам Якоби прислал для гальванопластического класса 25 экземпляров своей книги и предложил свою помощь школе, а вскоре после открытия класса прочел в ней курс гальванопластики. На 12 его лекциях присутствовало в общей сложности 1700 человек, что является ярким показателем интереса к гальванопластике. В самом же гальванопластическом классе одновременно обучалось 10-15 учеников. Заведующим классом, по рекомендации Б. С. Якоби, стал купец Ф. Вернер (немец по происхождению), энтузиаст гальванопластики и автор двух учебных руководств в этой области. Вернер жалования не получал и трудился в классе безвозмездно. За 13 лет существования гальванопластического класса Рисовальной школы в нем было обучено в общей сложности около 500 человек.

В программе гальванопластического класса видное место отводилось золочению и серебрению. Эти процессы представляли существенный интерес для многочисленных в то время мастерских и небольших фабрик серебряных и бронзовых изделий художественного характера, выпускавших всевозможные вещи комнатного убранства, церковную утварь, предметы офицерского и воинского снаряжения, бронзовые детали для мебели, экипажей и т.п. Начиная с первого же *«курса»*, программа обучения всегда завершалась практическими занятиями, которые проводили два добровольных преподавателя: зубной врач Бриан – по золочению и майор М. Г. Евреинов – по серебрению.

Бриан один из первых в России в 1842 г. разработал процесс золочения из железистосинеродистого электролита. В этом же году владелец довольно крупной бронзовой фабрики в Петербурге Шопен также один из первых внедрил в производство на своей фабрике гальванический способ золочения по методу Бриана. Евреинов усовершенствовал электролит Бриана и в 1843 г. по поручению министра финансов Е. Канкрина позолотил по предложенному им методу 10 тыс. серебряных медалей св. Анны общей площадью более 13 м^2. Метод Евреинова применялся для золочения и в мастерской Лейхтенбергского. Евреинов также одним из первых в России в 1842 г. разработал способ серебрения.

Говоря об истории гальванотехники в России, нельзя не упомянуть имя выдающегося реформатора драматического театрального искусства – К. С. Станиславского (Алексеева). Его отец Алексеев был совладельцем крупной золотоканительной фабрики в Москве, где был гальванический цех. В цехе золотили и серебрили ленту, изготовленную из электролитической меди. В возрасте 29 лет (1892 г.) Станиславский был послан отцом во Францию для ознакомления там со скоростным гальваническим золочением медной ленты. Станиславский писал отцу из Франции: *«по приезде в Москву я буду знать все, и даже больше, по интересовавшим меня вопросам… Узнал также, как можно золотить без золота»*. По-видимому, имелась в виду латунь, то есть сплав цинка и меди. Справедливости ради надо сказать, что впервые в России процесс латунирования был предложен Якоби еще в 1844 г., реально же этот процесс начал применяться в 90-х годах.

Заслуживает внимания и история с И. Гамбургером. Этот человек, по профессии стекольщик-ламповщик, изготавливал сосуды для гальванических батарей в лаборатории Якоби с весны 1838 года. Якоби, увидев интерес Гамбургера к гальванопластике, так как тот тайком подсматривал за работами Якоби, решил *«наставлять его на правильный путь и показать ему, как браться за дело»*. Гамбургер оказался чрезвычайно одаренным человеком – уже в начале 40-х годов он завел собственную довольно большую мастерскую и в самый короткий срок добился замечательных успехов в гальванопластике и копировании крупной скульптуры. По-видимому, ослепленный успехом и вниманием, Гамбургер одно время даже пытался всерьез выдавать себя за изобретателя гальванопластики.

Первые десятилетия после открытия Якоби в России в основном использовалось три процесса: меднение, золочение и серебрение. Другие процессы стали использоваться значительно позже.

Так, об оловянировании было сообщено в 1867 г., но из-за дефицита в стране олова процесс начал применяться на практике лишь в 1882 г. О гальваническом покрытии железа цинком, как о средстве, предохраняющем от ржавчины, сообщалось в одной из газетных статей еще в 1844 г. Однако в производстве цинкование стало применяться лишь в 1879 г. полковником Ковако, владельцем гальванопластического завода и основателем специализированной школы по гальванопластике в Петербурге. Здесь же впервые в крупных масштабах в 1879 г. начали применять никелирование.

Самым ранним и развитым применением процесса электролиза после гальваностегии и гальванопластики является электрометаллургия, которую разделяют на две отрасли: когда ток действует на растворы и когда разлагающаяся жидкость получена плавлением разлагаемого вещества.

Электролитическое добывание и очистка металлов. Несмотря на то, что опыты по добыванию металлов посредством электролиза проводились уже десятки лет в лабораториях, промышленное применение этого способа началось, прежде всего, с электрической очистки меди, которая, конечно, стала возможной только после изобретения динамо-машины. Все, что было раньше, можно прямо считать не имеющим промышленного значения. Впрочем, следует упомянуть, что уже в середине шестидесятых годов XIX в. Элкингтон выработал и применил способ электрической очистки меди, который в своих основных чертах одинаков с современными способами. Но Элкингтон имел в своем распоряжении только машины Вильде и не удивительно, что с такими еще несовершенными машинами он не мог достичь удовлетворительных результатов. Первая успешная установка для очистки меди была изготовлена в 1878 г. Сименсом и Гальске на заводе «Kommunion-Huttenwerke». Примененный ими способ очистки, в сущности, очень похож на способ гальванопластики медью: очищаемая медь в форме пластины располагалась в ванне в качестве анода и осаждалась на пластину чистой меди, служащей катодом. При таком переносе меди током с одного электрода на другой посторонние примеси по большей части выпадали, и в осадке получался металл, содержащий до 99,5% чистой меди. Ванной служил раствор медного купороса. Мощность этих машин была незначительна. Так, им приходилось преобразовывать в ток всего около 6 л.с. механической энергии, но все-таки они представляли интерес в том отношении, что их пришлось перестроить для силы тока в 1000 А, при этом была низка электровозбудительная сила машины (всего 3,5 В), что упрощало изолирование обмотки. Машины были построены по старому типу

динамо-машин Сименса и Гальске с барабанным якорем. Обмотка якоря состояла из толстых мощных прутьев, которые отделялись друг от друга и от сердечника якоря прокладками из асбеста. Коллектор и щетки были больших размеров и, соответственно были рассчитаны на большую силу тока. Обмотка каждой половины электромагнитов состояла из 7 витков толстых медных полос. Каждая такая машина доставляла ток 12 соединенным последовательно ваннам и осаждала 250-300 кг меди в день. Таким образом, на заводе ежегодно очищалось током от 500 до 600 т меди.

В начале XIX в. число предприятий для электрической очистки меди увеличилось, к 1898 году в Америке их насчитывалось 9, в Германии – 7, во Франции – 6, в Англии – 5, в России – 3 и в Японии – 1. Все вместе они производили за год около 170000 т электролитической меди.

Способы выщелачивания золота. Как известно, содержащий золото кварц толчется машинами и затем еще дополнительно размельчается, после чего на него действуют ртутью. Последняя растворяет содержащиеся в размельченной породе частицы золота, получается амальгама, из которой золото добывают возгонкой ртути. Указанный способ имеет серьезный недостаток – в кварце остается от 30 до 40% золота, и поэтому старались придумать, как извлечь и этот драгоценный остаток. В начале XIX в. Сименс и Гальске применили способ, удовлетворяющий данной цели. Ранее было известно, что содержащееся в остатках амальгаматоров золото можно извлекать выщелачиванием при помощи раствора цианистого калия, в котором золото растворяется. Дело было за извлечением золота из цианисто-калийного раствора. Для этой цели прибегли к очень простому на вид приему, а именно: в раствор золота вводили цинковые стружки, причем происходил обмен золота на цинк, и освобожденное золото осаждалось на стружках. С помощью обтирания стружек золотой налет освобождался.

В 1855 г. на Всемирной выставке в Париже было представлено «серебро из глины», которое произвело большую сенсацию. Это были слитки алюминия и пластины, полученные французским ученым Девилем. Легкий, втрое легче стали, гибкий, почти не подверженный коррозии металл получил чрезвычайно высокую оценку. Развитие отрасли по добыванию алюминия стимулировал сам император Наполеон III. Однажды он дал обед, на котором наиболее значительных особ ожидали алюминиевые ложки и вилки. В дальнейшем монарх мечтал об алюминиевых доспехах для всей армии. Но тогда алюминий был безумно дорогим и чудесным металлом,

поэтому только личная гвардия Наполеона получила кирасы из алюминия.

Самому Д. И. Менделееву в 1889 г. в Лондоне за заслуги в науке был преподнесен ценный подарок – весы, которые были выполнены из золота и алюминия, а датский король Кристиан X носил корону из алюминия.

Этот способ оказался на практике сложным и не обеспечивал успех, и лишь после того как Сименс и Гальске усовершенствовали способ гальванического осаждения, метод выщелачивания получил требуемую практическую форму.

В способе Сименса и Гальске цианистый раствор золота отводится в деревянные ящики, в которых расположены попеременно железные и натянутые в деревянных рамах тонкие свинцовые листы. Соединенные между собой железные листы представляют собой аноды, тогда как соединенные между собой свинцовые листы являются катодами, на них и осаждается золото. Когда осадок достигает достаточной толщины, свинцовые листы вынимаются и замещаются новыми. Вынутые листы расплавляются, свинец удаляется с помощью известных металлургических приемов и остается одно золото.

Освобожденный от золота раствор снова направляется к содержащим золото минералам и возвращается в ящик вновь обогащенный золотом, так что процесс выщелачивания и освобождения золота идет непрерывно.

Добывание магния. Если подвергать действию тока соли щелочных и земельных металлов в расплавленном на огне состоянии, то на отрицательном полюсе выделяются металлы. Таким путем Дэви открыл в 1808 г. калий и натрий. В 1851 г. Бунзену удалось разложить хлористый магний с помощью тока на магний и хлор, и затем через несколько десятков лет из этих открытий развилась технология добывания щелочноземельных и земельных металлов с помощью электрического тока. Магний – единственный щелочноземельный металл – добывался при помощи тока заводским путем в больших количествах в Гемелингене. Добытый электрически металл начинал постепенно вытеснять английский продукт, добываемый химическим путем.

Добывание алюминия и его сплавов. Из всех электрометаллургических процессов для добывания металлов ни один не привлекал такого внимания и не достигал такого значения, как электрическое добывание алюминия, благодаря которому сделалось возможным получение этого ценного материала в больших количествах и

по ценам, весьма незначительным в сравнении с прежними. Благодаря этому металл, соединяющий в себе несколько превосходных качеств, превратился почти сразу из редкого металла в общеупотребительный и за несколько лет приобрел широкое распространение. Алюминий известен с 1827 г., когда он был получен Фридрихом Велером. Но тогда не могли еще получить его в виде связной массы – он представлял собой серый порошок. Велер получил металл, действуя калием на хлористый алюминий, т.е. чисто химическим путем, и этот способ долгое время оставался единственным для добычи алюминия. В сороковых годах XIX в. добыванием алюминия стал заниматься французский химик Девиль, усилиями которого тогда были основаны во Франции два алюминиевых завода. Последние пользовались несколько десятков лет монополией производства алюминия, так как не могло быть и речи о широком применении металла и выгодности его производства при высокой цене.

Некоторые химики старались найти усовершенствованные способы производства металла. Но все эти успехи затмило электричество. Когда начали добывать металл электрическим путем, цена на алюминий за несколько лет упала до двух марок за 1 кг.

Уже вскоре после изобретения динамо-машины пытались применить ток для получения алюминия, но прошло еще целое десятилетие, пока это производство достигло стадии практической применимости. Долгое время рассчитывали найти возможность добывать металл электролизом из водных растворов и осаждать его на другие металлы, но не могли добиться успеха в этом направлении, так как при электролизе алюминий не выделялся в виде металла, а окислялся при самом выделении из водных растворов и падал на дно в виде глинозема.

Гораздо прозорливее оказались те, кто применил электролиз расплавленных алюминиевых соединений, из которых можно получать металл в чистом состоянии таким же способом, как при добывании магния. Такой способ стал сначала применять гемелингенский завод, но впоследствии ему пришлось оставить это производство, потому что нашли другой способ более дешевого добывания металла. Изобретателями этого нового способа были два американца – братья Коулсы, из изобретений которых развились затем дальнейшие усовершенствованные способы.

Братья Коулсы воспользовались током не для разложения алюминиевого соединения, а для нагревания смеси этого соединения с углем до такой температуры, при которой уголь начинает действовать раскисляющим образом на глинозем и восстанавливает металл.

Их способ состоял в том, что они нагревают вольтовой дугой смесь глинозема, зерен меди и угля. Благодаря необыкновенно высокой температуре, развиваемой вольтовой дугой, уголь раскисляет окиси алюминия, и последний, освобождаясь, сплавляется с расплавленной там же медью в так называемую алюминиевую бронзу.

На рисунке 44 изображена электрическая печь, в которой происходит этот процесс. Она сделана из огнеупорного материала, с боков вовнутрь проходят две наклонные трубки, через которые просовываются толстые угольные стержни. Их концы настолько сближают, чтобы между ними образовалась вольтова дуга. Ток проходит между ними через плохо проводящий материал, в котором концентрируется теплота. Для данной цели дно печи покрывается древесным углем и на этой набивке располагаются концы угольных электродов, которые представляют собой от 7 до 9 параллельно поставленных стержней диаметром 65 мм. Сверху печь наполняется смесью глинозема, истолченной в зерна меди и древесного угля, и затем закрывается чугунной крышкой с отверстиями для выхода образующихся газов. Пропускают ток, смесь нагревается, и глинозем начинает разлагаться. Применяемый в такой печи ток доходит до 5000 А и производится динамо-машиной в 600 л.с. Восстановление заканчивается через 1-2 ч. Тем временем подготавливают новую печь, которую теперь и вводят в цепь, а предыдущей печи в это время дают остыть. Затем ее опустошают и наполняют снова. Таким образом, последовательно действуют две печи завода, а производство ведется непрерывно.

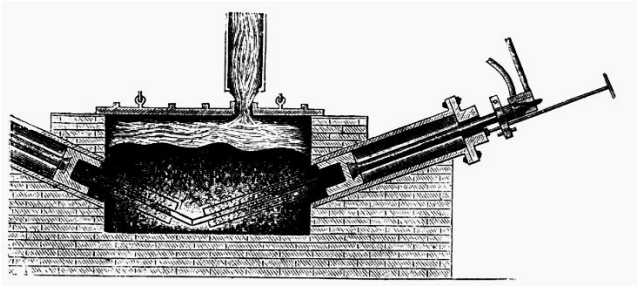


Рис. 44. Электрическая печь братьев Коулс
(URL: http://be.sci-lib.com/)

Хотя способ Коулсов давал возможность получать не чистый алюминий, а только его сплавы, но все-таки он, несомненно, был важным шагом вперед в области добывания алюминия, потому что он первый дал возможность добывать практически этот металл при помощи тока в большом количестве. С теоретической точки зрения

он представляет интерес в том отношении, что в нем впервые было применено в большом масштабе воздействие электрическим путем развиваемой теплоты на металлургические процессы. Химики придерживаются взгляда, что уголь восстанавливает окись любого металла, если только температура достигает требуемого значения, а так как для некоторых металлов эта температура должна быть очень высокой, то воздействие развиваемой током теплоты, допускающее ее значительную концентрацию и позволяющее получать температуры, которые иным путем не могли быть достигнуты, является наилучшим средством к достижению условий, необходимых для проявления восстанавливающей способности угля.

Другой способ открыл Геру. Здесь ток одновременно производит нагревание и разложение, расплавляя разлагаемую массу, поддерживая ее в этом состоянии и электролизируя ее. Прямоугольный железный ящик снабжен толстой облицовкой из угольных пластин, которые служат отрицательным электродом и соединяются проводом с динамо-машиной. Положительный электрод состоит из пучка параллельных угольных пластинок, которые электрически соединены в одно целое. При помощи особого приспособления они опускаются до требуемой глубины в плавильную камеру. Если надо получить алюминиевую бронзу, то дно камеры покрывают кусками меди и опускают положительный электрод настолько, чтобы он прикасался к слою меди. Сильный ток расплавляет медь, после чего в плавильную камеру вводят глинозем. Вследствие надлежащего поднятия положительного электрода между жидкой медью и положительным электродом образуется сильная вольтова дуга, которая расплавляет глинозем. Последний в расплавленном состоянии проводит ток, а потому, когда он покрывает медь, по нему проходит ток и разлагает его. Освобождающийся алюминий сплавляется с медью, а получающийся на положительном полюсе кислород сжигает положительный угольный электрод, образуя углекислый газ. Соответственно уменьшению массы глинозем и медь опускаются вниз, так что процесс продолжается непрерывно. Скапливающийся в плавильной камере металл вытекает в литейную форму. Чтобы получить по этому способу чистый алюминий, следует лишь сначала подвести некоторое количество меди к расплавляемому телу и затем вводить только чистый глинозем.

Из этого описания можно видеть, что способ Геру имеет много общего со способом Коулсов, хотя существенно отличается от него в некоторых отношениях. Оба способа одинаковы по применению нагревательного действия тока, но братья Коулс пользовались им только с целью получения высокой температуры, необходимой для

восстанавливающего действия угля, тогда как в способе Геру его применяют и для плавления, и для электролиза. Отделение алюминия от кислорода у Коулсов производится действием угля, а у Геру – проходящим током в соединении с восстанавливающим действием угля.

Итак, аппарат братьев Коулс представлял собой электрическую плавильную печь, а аппарат Геру – электролизатор. В отношении устройства между ними есть существенная разница, и печи Геру следует отдать преимущество перед печью Коулсов.

Способ Геру был принят в качестве основного для добывания алюминия Обществом алюминиевой промышленности. Новое общество получило концессию на использование из Рейнского водопада 20 $м^3$ воды в секунду, приобретя, таким образом, более чем достаточное количество энергии, и тотчас приступило к оборудованию своего предприятия, которое было закончено в течение года, и в начале 1890 г. уже началась работа.

Благодаря добросовестному ведению дела, как в коммерческом, так и в техническом отношениях, Нейгаузенскому заводу удалось обеспечить алюминию право гражданства и найти для него разнообразное применение. Вследствие этого, предприятие уже в самом начале дало хорошие результаты и в течение некоторого времени удовлетворяло весь спрос на алюминий. Это обстоятельство побудило американцев устроить у себя алюминиевый завод («Pittsburgh Aluminium Redaction C°» – «Питтсбургская компания для добывания алюминия»), перебравшийся, когда возникла Ниагарская установка, в ее соседство и берущий теперь оттуда 3000 л.с. энергии. Между тем и Нейгаузенский завод перестал удовлетворять все возрастающий спрос, вследствие чего был устроен дополнительный завод в Рейнфельденте. В Англии был построен алюминиевый завод на водопаде, дающем 6000 л.с., два подобных завода имелись и во Франции.

Использование электротехнологий для получения алюминия обеспечило резкое снижение цен на него и его широкое применение, в том числе для изготовления электрических проводов. Проводимость алюминия в два раза меньше проводимости меди, в связи с чем для достижения одинакового эффекта алюминиевой проволоке приходится придавать вдвое большее сечение по сравнению с медной, следовательно, приходится употреблять вдвое большее количество металла. Но удельный вес алюминия лишь немногим больше 1/4 удельного веса меди, поэтому двойное количество алюминия ве-

сит приблизительно в два раза меньше соответствующего количества меди, и при меньшей стоимости достигается снижение нагрузки на опоры линий электропередач.

Получение карборунда. Простая по устройству печь братьев Коулс сосредоточила на себе интерес исследователей и изобретателей. После того как было доказано, что накаленный током углерод обладает огромным химическим сродством с кислородом, отнимает его из соединений с другими веществами, восстанавливая последние, все «набросились» на это явление, стремясь получить вещества, не встречающиеся в природе в свободном состоянии и добывание которых химическим путем крайне затруднительно. Среди этих попыток особенно замечательны два неправильно поставленных опыта, приведших совершенно неожиданно к открытию новых веществ, а именно к открытию карборунда и добыванию карбида кальция. В обоих случаях изобретатели хотели добыть основное вещество в чистом виде, а получили вместо того соединение этих элементов с углеродом. Американский электротехник Ачесон стремился добыть кремний из кварцевого песка, для чего он смешивал последний с углем и помещал в печь Коулсов. К своему удивлению вместо кремния он получил светло-зеленоватый порошок, состоявший из небольших пластинчатых кристаллов. Анализ показал, что эта масса представляет собой соединение кремния с углеродом, т.е. карбид кремния. Ачесон, связав два названия – карбо и корунд, на который новое соединение было похоже по своей твердости, назвал его карборундом.

Карборунд изготовлялся в больших количествах на заводе «Компания карборунда». Завод был расположен вблизи Ниагарского водопада и пользовался необходимой электрической энергией от Ниагарской ГЭС. Общество расходовало до 1000 л.с., добывая ежедневно 2000 кг карборунда.

Для получения карборунда пользуются коксом, песком, солью и опилками, которые соответственно размельчаются и смешиваются в определенных весовых отношениях, и именно такую смесь вводят в печь.

Печь загружается массой, которой идет не менее 10000 кг на каждый заряд. В середину массы закладывается цилиндрическое ядро из коксовых зерен, соединяющее электроды с обеих сторон. После этого пропускают ток, который предварительно преобразуют с помощью трансформатора из тока высокого напряжения в ток низкого напряжения.

Получение карбида кальция. Подобно открытию карбида кремния было открыто и другое соединение углерода, которое обрело в последние годы весьма важное значение. Американец Вильсон, желая с помощью восстановительного процесса получить металл кальция из чистой окиси кальция, подверг последнюю совместно с углем действию электрической печи. Вместо металла он получил соединение его с углем – карбид кальция. Муассан почти одновременно (1892 г.) добыл это вещество в электрической печи. Для добывания карбида кальция пользовались не старой конструкцией печи братьев Коулс, а печью, загрузка и выгрузка которой упрощены и которая допускает регулирование силы тока изменением расстояния между электродами. Такая печь «Компании ацетиленового освещения, отопления и энергии» («Acetylene Light, Heat & Power C°») в Филадельфии, построенная в 1896 г. на карбидном заводе у Ниагарского водопада, состояла из квадратного литого железа ящика длиной немного больше 1 метра, шириной до 70 см и высотой до 80 см при толщине стенок до 25 мм.

Так как железный пол печи служит одновременно электродом, то, чтобы предохранить его от действия вольтовой дуги, на него насыпали слои угольной пыли толщиной до 30 см. Вторым электродом являлась прямоугольного сечения угольная призма, составленная из отдельных угольных пластин и прикрепленная к железной штанге. Угольная призма соединялась с полюсом динамо-машины с помощью гибких медных канатов, прикрепленных к железному стержню. Так как каждая печь, из которых в действии всегда находилось две, расходовала 500 л.с., то сила тока достигала значения приблизительно в 5000 А. Ежедневно печь вырабатывала 2,5 т карбида, так что завод давал в день 5000 кг вещества.

Электрическое отбеливание. Французский химик Эрмит применил ток для получения белильной жидкости. Для этой цели он пропускал ток через раствор хлористого магния. При этом на положительном полюсе образовывались соединения кислорода и хлора, обладающие сильной отбеливающей способностью. На отрицательном полюсе получались магний и водород, из них первый разлагал воду, образуя окись магния. Если в эту жидкость ввести отбеливаемые волокна, то их окрашивающие вещества окисляются кислородохлорным соединением, хлор освобождается и соединяется с освободившимся водородом в соляную кислоту, которая с окисью магния образует опять прежнее соединение – хлористый магний. Способ Эрмита нашел применение в большом масштабе на бумажной фабрике близ Кардифа. Устроенная для этого большая установка при затратах 300 л.с. производила в сутки белильную жидкость в

количестве, эквивалентном 2 т белильной извести. Эта установка состояла из 20 электролизаторов, по каждому из которых циркулировал раствор хлористой соли. Электролизатор (рис. 45) представлял собой ящик из оцинкованного железа, в котором расположены попеременно и параллельно платиновые и цинковые пластинки на небольшом расстоянии одна от другой. Платиновые пластинки соединены между собой и с положительным полюсом динамо-машин. Точно также соединенные между собой цинковые пластинки находятся в сообщении с отрицательным полюсом. Раствор входит по трубе, сообщающейся с электролизатором около его дна, проходит между пластинками и выливается через край сосуда в желоб, откуда он стекает в общий резервуар. Для дальнейшего употребления он поднимается центробежной помпой в верхний резервуар, откуда снова протекает по электролизаторам. Вторая помпа доставляет его в белильные резервуары, откуда он опять отводится в общий резервуар для электролиза.

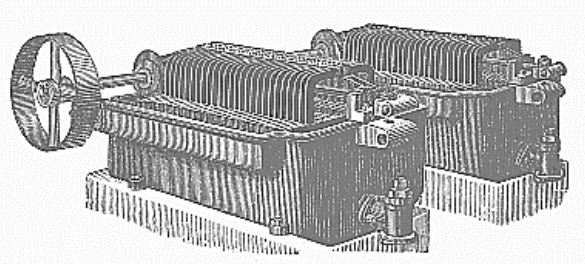


Рис. 45. Электролизатор для беления по способу Эрмита
(URL: http://energetika.in.ua/ru/)

Эрмит пытался применить свое изобретение и для дезинфекционных целей. При этом он пользовался, как и в случае белильного процесса, особой, добытой электрическим путем дезинфекционной жидкостью, которую он получал электролизом воды, содержащей хлористые соли. Так как для дезинфекции одного кубического метра сточной воды требуется 1 кг хлористой жидкости, то весьма важно было, чтобы раствор был дешевым, что имеет место в приморских городах, где можно морскую воду использовать для производства дезинфекционной жидкости. Во многих фабричных городах фабрики дают содержащую хлористые соединения воду в качестве отбросов, которыми и пользуются для этих целей.

Русский изобретатель С. Н. Степанов разработал простой и экономичный способ приготовления белильной жидкости электро-

лизом поваренной соли – продукта дешевого и добываемого в России в изобилии. Все усовершенствование, сделанное Степановым в электрохимическом отношении, заключается в том, что в раствор поваренной соли прибавляется небольшое количество едкой извести. При пропускании тока в растворе образуются хлорноватокислая известь, едкий натрий и хлористый кальций, а, кроме того, из него выделяется водород; затем половина едкого натра разлагает хлористый кальций, причем осаждается известь. Получающаяся в растворе хлорноватокислая известь лучше хлорноватистонатровой соли выдерживает действие тока, не переходя в хлорноватую соль, так что оказывается возможным получать растворы с 1,4-1,6% этой соли, что вполне достаточно для практических целей. Кроме того, при этих реакциях электровозбудительная сила бывает не больше 1,8 В, тогда как при способе Эрмита, например, она достигает 4 В.

Существенное отличие аппарата Степанова заключается в том, что отдельные элементы соединены в цепи не параллельно, то есть, не расположены в одной ванне, а последовательно.

3.2. Из истории развития электрического освещения

Электрическое освещение – первое массовое энергетическое применение электрической энергии – сыграло исключительно важную роль в становлении электроэнергетики и превращении электротехники в самостоятельную отрасль техники. Электрическое освещение явилось одной из первых областей применения электричества после гальванопластики.

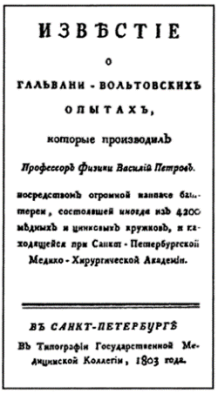
У истоков освещения с помощью электричества, а точнее освещения при помощи дуговых электрических ламп, стоял В. В. Петров, профессор Медицинско-хирургической академии в Петербурге, который был преемником и продолжателем трудов М. В. Ломоносова.

Василий Владимирович Петров (рис. 46, *а*), сын приходского священника, родился в г. Обоянь Курской губернии. Обучался в Харькове, затем в Петербургской учительской семинарии. Трудовую деятельность начал в Колывано-Воскресенской (Барнаульской) горной школе в качестве учителя математики и физики (1788 г.). В 1793 г. В. В. Петров стал преподавателем Петербургского медико-хирургического училища, которое в 1795 г. было переименовано в Военную медико-хирургическую академию, где В. В. Петров получил должность экстраординарного профессора физики и математики.

С 1807 г. В. В. Петров – адъюнкт Академии наук по кафедре экспериментальной физики, с 1809 г. – экстраординарный академик, с 1814 г. – ординарный академик и заведующий Физическим кабинетом. Одновременно В. В. Петров заведовал кафедрой физики Медико-хирургической академии, а также читал лекции в Академии свободных художников и во 2-м Кадетском корпусе.

В. В. Петров известен рядом работ в области гальванических элементов и теории электризации тел. В 1600 г. Уильям Гильберт разделил все тела на *«электрические»*, то есть электризующиеся при трении, и *«неэлектрические»*, которые трением наэлектризовать нельзя. Между прочим, *«электрические»* тела по Гильберту – это диэлектрики, а *«неэлектрические»* – проводники. Правда, в 1713 г. Стефан Грей показал, что можно наэлектризовать и проводник, но это было воспринято с недоверием. В. В. Петров поставил ряд безупречных опытов, в которых он предусмотрел все возможности стекания зарядов с проводника в землю и достиг электризации этих тел. Свой метод В. В. Петров назвал *«стеганием»*. Результаты работы В. В. Петров опубликовал в 1804 г. в книге *«Новые электрические опыты профессора физики Василия Петрова, который опытами доказывает, что изолированные металлы и люди могут соделываться электрическими от трения, наипаче же стегания их шерстью, выделанных до нарочитой мягкости мехов и некоторыми другими телами, а также особливые опыты, деланные различными способами для открытия причины электрических явлений»*. Этим было установлено, что различия между электризацией проводящих и непроводящих тел в природе нет.

а



ИЗВѢСТІЕ

О

ГАЛЬВАНИ - ВОЛЬТОВСКИХЪ

ОПЫТАХЪ,

которые производилъ

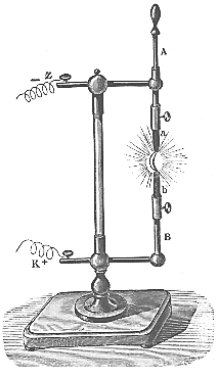
Профессоръ Физики Василій Петровъ.

посредствомъ огромной напасе батареи, состоящей иногда изъ 4200 мѣдныхъ и цинковыхъ кружковъ, и находящейся при Санкт - Петербургской Медико - Хирургической Академіи.

ВЪ САНКТ-ПЕТЕРБУРГѢ

Въ Типографіи Государственной Медицинской Коллегіи, 1803 года.

б



в

Рис. 46. Василий Владимирович Петров (1761-1834 гг.) (а), титульный лист мемуаров В. В. Петрова (б) и приспособление для образования вольтовой дуги (в)
(URL: http://www.oboyan.org/petrov.html; http://energetika.in.ua/ru/)

Когда Алессандро Вольта в 1799 г. составил первую гальваническую батарею – вольтов столб, В. В. Петров в лаборатории Медико-хирургической академии провел цикл исследований с гальваническими батареями. О результатах исследований он написал в 1803 году книгу *«Известие о гальвано-вольтовских опытах, которые производил профессор физики Василий Петров посредством огромной наипаче батареи, состоящей иногда из 4200 медных и цинковых кружков и находящейся в Санкт-Петербургской Медико-хирургической академии»*. Батарея состояла из 2100 элементов и создавала напряжение 1700 В. Отдельная глава его книги посвящена действию тока *«на тела живых, особливо животных»*, и даются рекомендации для врачей. Использование гальванических батарей дает новый толчок развитию электромедицины.

Имея источник с большим напряжением и достаточной мощностью, В. В. Петров начинает работы в области электрохимии. Он показал, что горение есть реакция окисления, для которой нужен кислород, а также проводил много опытов по нагреву тел в *«безвоздушном месте»*, где тела накаливались, но не сгорали. Это в дальнейшем использовал А. Н. Лодыгин, создавая лампы накаливания с угольной нитью, помещенной в вакуум.

В. В. Петров проводил изучение поведения цепи при сближении электродов в вакууме, масле, воздухе. Это дало возможность открыть свечение за счет электрического разряда в вакууме, изучить электрические разряды в жидкости, открыть электрическую дугу в воздухе. *«От этого света,* – пишет В. В. Петров, – *темный покой довольно ясно освещен быть может*». Это первая идея об электрическом дуговом освещении. Исследуя световые явления, вызываемые электрическим током, В. В. Петров сделал свое знаменитое открытие – электрическую дугу, сопровождающуюся появлением яркого свечения и высокой температурой. Это произошло в 1802 году и имело огромное историческое значение. Наблюдения и анализ Петровым свойств электрической дуги легли в основу создания электродуговых ламп, ламп накаливания, электросварки металлов и многого другого.

Продолжая изучать процессы горения, В. В. Петров начинает исследовать, как *«горят»* в пламени дуги различные тела, примененные в качестве электродов или вносимые в зону дуги. Здесь он

открывает способность восстановления окислов олова, свинца, ртути в металл, что послужило началом электрометаллургии. В 1803 г. В. В. Петров первым в мире показал возможность применения электротока (электродуги) в металлургии. В. В. Петров исследовал электропроводимость различных жидких и твердых тел, высказал мысль о возможности разложения воды электрическим током, открыл реакцию окисления и восстановления металлов, открыл принцип аккумулирования электричества.

В. В. Петров имел источник достаточно высокого напряжения и оригинально решил задачу измерения *«силы действия»* (напряжения) батареи. Он подвешивал между электродами легкий пробковый шарик, который начинал за счет сил отталкивания и притяжения качаться между электродами. По величине наименьшего расстояния, при котором непрерывное качание еще имело место, оценивалась сила действия.

Отметим еще одно обстоятельство в деятельности В. В. Петрова. Первоначально источником электричества были электростатические устройства, то есть электричество создавалось за счет трения. С появлением гальванических элементов появилось представление и о новом виде электричества. Петров ставит вопрос – являются ли *«электрические»* и *«гальванические»* токи одним и тем же явлением – и на опытах приходит к выводу о том, что данные опытов *«доселе еще показывают большее или меньшее различие между действиями гальвано-вольтовской и электрической жидкости»*.

Почему же В. В. Петров сделал этот неверный вывод? Дело в том, что в электростатических машинах обычно получаются высокие напряжения, но малое количество электричества, а в гальванических элементах – наоборот, то есть неверные выводы получены из-за несопоставимых условий опыта.

Работа В. В. Петрова с источником тока высокого напряжения не могла не привести его к выводу о важном значении изоляции проводов; им было предложено изготовлять электрические проводники, покрытые сургучом или воском. Разработанный В. В. Петровым принцип изоляции проволочных проводников, заключающийся в покрытии их поверхности изолирующим слоем, нашел дальнейшее развитие в производстве кабельных изделий. В. В. Петров пришел к правильному выводу о высоких электроизоляционных свойствах жирных (растительных) масел.

В истории русской физики первой половины XIX в. В. В. Петров не только хронологически, но и по своему значению непосредственно следует за М. В. Ломоносовым. Имя и дело этого замечательного ученого, организатора русской физики и ее преподавателя,

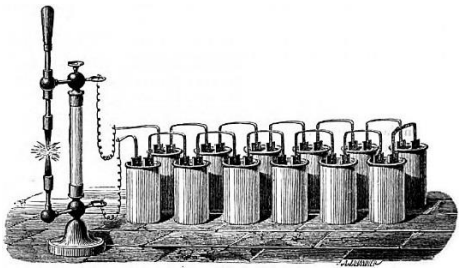
должно быть прочно сохранено в памяти отечественных физиков и техников. Такова оценка значения научной деятельности В. В. Петрова, данная ему академиком С. И. Вавиловым в предисловии к книге *«Академик Петров»*.

Академик П. Л. Капица писал: *«Биография Петрова весьма поучительна. Сын приходского священника, он начал свою деятельность скромным учителем в Барнауле в провинциальном училище, впоследствии достиг положения профессора физики в Медико-хирургической академии в Петербурге. Петров, как и Ломоносов, был ученый-одиночка, и он тоже не оставил после себя школы. Его работы и он сам остались неотмеченными в истории науки не только за границей, но и у нас. Не сохранилось портрета Петрова, и только недавно стало известно, где он похоронен. Для меня нет никакого сомнения, что по своим научным открытиям Василий Владимирович Петров должен был бы занять одно из самых первых мест не только в нашей, но и в мировой науке, как крупнейший физик-экспериментатор»*.

В 1810 г. опыты В. В. Петрова повторил английский ученый сэр Хэмфри Дэви (рис. 47, *а*), удостоившийся великого звания первооткрывателя электрической дуги и прославившийся тем, что самым гениальным его «открытием» был его ученик, великий Майкл Фарадей. Дэви приводил в соприкосновение два заостренных угля, которые были соединены с полюсами батареи, состоящей из 2000 элементов. Благодаря огромному выделению тепла угли накалялись докрасна. Когда же Дэви удалял их концы друг от друга, ток продолжал передаваться через раскаленный воздух от одного угля к другому, распространяя ослепительный свет, получивший название света Дэви, или вольтовой дуги. При этом источником света являлась не сама дуга, а раскаленные добела концы углей. Поскольку угли, между которыми образуется дуга, постепенно сгорают (положительный примерно вдвое быстрее отрицательного), впоследствии было изобретено устройство, автоматически приближавшее один уголь к другому, оставляя расстояние между ними все время постоянным.

Устройство, позволяющее поддерживать более-менее постоянное горение вольтовой дуги, послужило прообразом первых электрических источников света или так называемых дуговых электрических ламп.

а



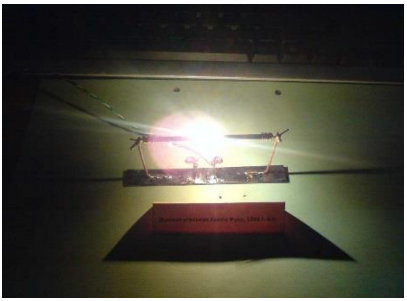
б

Рис. 47. Хэмфри Дэви (1778-1829 гг.) (а) и его лампа (б)
(URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/; https://natureexplorers.club/)

Самые первые электрические лампы – угольные дуговые – были созданы сэром Хэмфри Дэви в 1809 г. Два угольных стержня подключались к клеммам огромной батареи, в точке соприкосновения эти стержни раскалялись добела, а когда же их разводили на расстояние около 10 см друг от друга, между ними вспыхивала ослепительно белая световая дуга (рис. 47, *б*). Однако практическое применение угольные дуговые лампы нашли значительно позже. Первая стационарная лампа была установлена в 1862 г. на маяке Данджинесс.

Первый дуговой источник света (рис. 48) сконструировал в 1844 г. французский физик Жан Бернар Леон Фуко. В ходе разработки конструкций дуговых ламп возникла задача регулировать расстояние между электродами. Наиболее простыми регуляторами были электромагнитные – первые электроавтоматические приборы. Получили распространение лампы с регуляторами комбинированного действия (электромагнитного и механического), например дуговая лампа русского изобретателя А. И. Шпаковского.

а



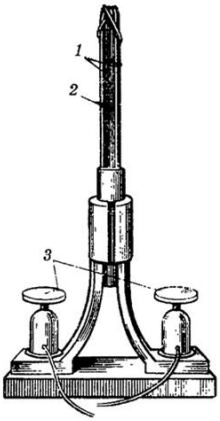
б

Рис. 48. Дуговая угольная лампа Фуко (1844 г.): восстановленный внешний вид (а) и ее свечение (б)
(URL: http://proimages.ru/images/1706883_dugovaya-lampa-fuko.jpg; http://www.doovi.com/)

В 1875 г. Павел Николаевич Яблочков создает электрическую свечу (рис. 49, *а*), состоящую из двух угольных стержней, расположенных вертикально и параллельно друг другу, между которыми проложена изоляция из каолина (глины). Чтобы горение (свечение) было более продолжительным, на одном подсвечнике помещалось четыре свечи, которые горели последовательно (во времени) (рис. 49, *б*).

Павел Николаевич Яблочков родился в Саратовской губернии в семье обедневшего помещика. Обучение начал в гимназии в Саратове, но окончил только четыре класса. Имея склонность к занятиям техникой, он поступает в Николаевское военное училище в Петербурге. Училище было специальным и давало знания в области военной техники. Для поступления в училище П. Н. Яблочкову, как не окончившему гимназии, пришлось проходить репетиционную подготовку в пансионате, принадлежавшем известному офицеру, инженеру и композитору Цезарю Кюи. Училище П. Н. Яблочков окончил, получив чин подпоручика, и был назначен в саперный батальон. Прослужив год, он был направлен в техническое гальваническое заведение, организованное при активном участии Б. С. Якоби. Здесь П. Н. Яблочков увлекся физическими исследованиями, связанными с запросами техники. В 1870 г. он уволился с военной службы и поступил на должность начальника телеграфного отдела Московско-Курской железной дороги, где имел возможность проводить опыты в мастерских железнодорожного телеграфа. В 1873 г. П. Н. Яблочков познакомился с В. Н. Чиколевым, русским электротехником, одним из популяризаторов электротехнической науки, на технической беседе, которую проводил В. Н. Чиколев в Московском Политехническом музее.

а



б

Рис. 49. Павел Николаевич Яблочков (1847-1894 гг.) (а) и его дуговая электрическая лампа (б):
1 – угольные электроды; 2 – изолирующий слой;
3 – зажимы для подключения к источнику электроэнергии
(URL: http://dayas.com.ua/ru/)

П. Н. Яблочков познакомился с работами В. Н. Чиколева по созданию регуляторов для стабилизации горения дуги и стал ему помогать, тем более что это имело значение для осветительных приборов паровозов. В 1874 г. он открывает в Москве свою мастерскую, но спроса на осветительные приборы не находит и вследствие этого уезжает в Париж, где поступает помощником в мастерскую фирмы Бреге. Отъезд П. Н. Яблочкова за границу был связан с его значительными долгами, с которыми впоследствии он полностью расплатился и выкупил все долговые расписки и векселя.

Луи Франсуа Бреге (1804-1883 гг.), человек просвещенный и грамотный, за изобретения в области электротехники был избран экстраординарным членом Парижской академии наук. Бреге предоставил своему помощнику П. Н. Яблочкову самые благоприятные условия работы.

В марте 1876 г. П. Н. Яблочков получает французский патент, в тексте которого написано: *«Мое изобретение состоит в совершенном удалении всякого механизма, обыкновенно встречающегося в электрических лампах. Вместо того чтобы автоматически, посредством механизма, сближать угли по мере их сгорания, я помещаю угли рядом друг с другом, разделяя их изолирующим веществом, могущим сгорать вместе с углем, например каолин. Оба угля после такой обработки могут помещаться на особом подсвеч-*

нике, и стоит лишь пропустить по ним ток от какого-нибудь источника электричества, как между концами углей появляется дуга; для зажигания я соединяю концы углей небольшим кусочком угля, который сначала накаливается и служит как бы запалом для вольтовой дуги».

Работы Яблочкова дали начало новому направлению – сильноточной электротехнике, то есть применению электроэнергии для хозяйственных и промышленных целей.

П. Н. Яблочков выполнил очень много работ в области совершенствования своих приборов, получивших название «Свеча Яблочкова» и «Русский свет». Очень интересны его работы по введению в изолирующий слой дополнительных веществ. Например, в *«химической»* свече стержни делались из железа и окружались смесью магнезита и окиси магния. Железо, раскаленное дугой, восстанавливало магний из окиси. Восстановленный магний сгорал в воздухе ярким светом. Электроды этой свечи сгорали не более чем на 1 см в час. В связующую массу изолятора П. Н. Яблочков вводил порошки металла, например, цинка. При сгорании углей и испарении изолирующего слоя металл выделялся и оседал в виде полоски, что приводило к повторному зажиганию света. Были разработаны свечи с добавлением материалов, дающих цветное освещение.

Ранее уже говорилось, что дуги параллельно не горят. П. Н. Яблочков ставил на каждый подсвечник несколько свечей, но горела только одна. При аварии или сгорании первой свечи зажигалась вторая и т.д. Все это дало возможность широкого применения дугового освещения, тем более что оно оказалось дешевле и экологичнее газового освещения. Пробное освещение было устроено в больших Парижских магазинах «Лувр», затем на проспекте Оперы (Avenue l'Opera) и площади Оперы (Place l'Opera). Появляется электрическое освещение в Лондоне, Берлине, Мадриде, дворцах шаха Персидского и короля Камбоджи. П. Н. Яблочков становится европейской знаменитостью. Наконец, свеча Яблочкова появляется в России.

Для того чтобы наладить производство горелок в России, П. Н. Яблочкову надо было откупить привилегию у французского товарищества, которое потребовало миллион франков. П. Н. Яблочков пошел на это, отдав свои акции во французском товариществе, что тяжело отразилось на его благосостоянии. Но деятельность компании в России оказалась неуспешной. П. Н. Яблочков пережил большие лишения и умер у себя на родине, в Саратове, в возрасте 47 лет, оставив семью без средств.

Одновременно дуговое освещение испытывает сильную конкуренцию и начинает уступать лампам накаливания. Лампы Эдисона

уступали в светоотдаче, но имели больший срок службы (до сотен часов), допускали более легкое «дробление света», чем свечи Яблочкова. И хотя на первом этапе существенным фактором была реклама, но постепенно дуговое освещение начинает вытесняться лампами накаливания.

Это факты известные. Менее известны другие работы П. Н. Яблочкова, сделанные им для усовершенствования дугового освещения, но нашедшие широкое применение в современной электротехнике. В ярком свете «Свечи Яблочкова» они не так заметны, но представляют значительный интерес. При параллельном расположении электродов в дуговой горелке стало заметно, что положительный электрод сгорает примерно в два раза быстрее, чем отрицательный. При расположении по одной прямой это не имело значения, все равно приходилось сдвигать электроды. Яблочков начал делать положительный электрод в два раза толще. Были и другие предложения компенсации этого недостатка. Например, В. А. Тихомиров предложил один электрод размещать вертикально, а другой располагать по спирали вокруг первого, причем длина спирали вдвое больше длины прямого электрода. Однако проще оказалось применять переменный ток. Специально для этого фирмой Грамма были построены генераторы переменного тока, кстати, более простые по сравнению с генераторами постоянного тока. Оказалось, что переменный ток имеет и ряд других преимуществ, очевидных сегодня.

Обратимся к самому П. Н. Яблочкову. Он писал: *«Обыкновенно говорят: машины с постоянным током, я говорю: машины с так называемым постоянным, так как на самом деле в бобинах этих машин ток проходит то по одному, то по другому направлению и направляется в одну сторону с помощью особых приборов, называемых коллекторами. В машинах же с альтернативным током он получается таким, каким его дает природа, он не обязан проходить через трущиеся части и коллекторы, что дает возможность делать машины весьма больших величин и не требующих ремонта при долгом их употреблении... Я не буду входить в подробности описания этих машин, скажу лишь, что раз мнение сложилось в пользу машин с альтернативным током, типов их явилось громадное множество; все они весьма удовлетворительны и конкурируют между собою только в цене и прочности устройства. Я могу сказать, что поворот вызван, главным образом, моими работами»*.

Работы П. Н. Яблочкова в области переменного тока – одна из его основных заслуг в области технического прогресса. П. Н. Яб-

лочков совместно с Зенобом Теофилом Граммом создал свой генератор переменного тока. По своей конструкции – это прототип современных синхронных генераторов, в которых токогенерирующая часть расположена неподвижно, а вращается намагниченный индуктор. Имея в виду *«дробление»* света, П. Н. Яблочков разделил генерирующие обмотки на части, которые можно было включать последовательно или питать от каждой обмотки отдельный приемник или группу приемников. При выходе из строя одной части можно было просто ее отключить, чего нельзя сделать в других генераторах того времени (Зеноба Теофила Грамма, Вернера Сименса). По сути, П. Н. Яблочков создал многофазный генератор, хотя вопрос о фазности он не ставил, имея в виду лишь питание осветительных приборов.

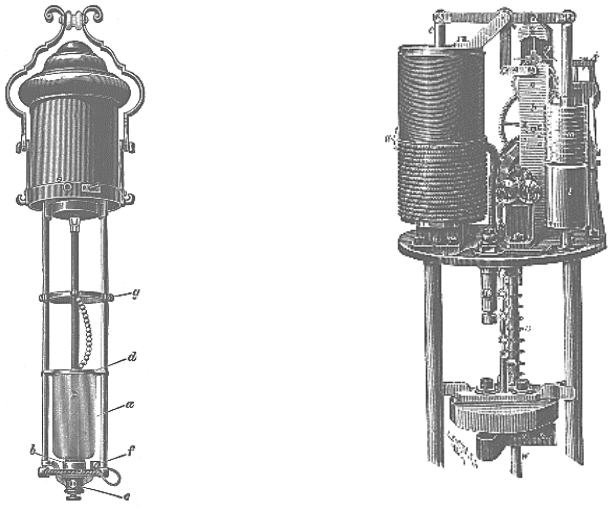
Поскольку при параллельном расположении электродов не требуется регулирования расстояния между ними, достаточно просто включать последовательно до 4-5 ламп. Кроме того, П. Н. Яблочков для «дробления» света использовал ряд возможностей, присущих цепям переменного тока. В ноябре 1876 г. П. Н. Яблочков получил привилегию *«Система распределения токов при электрическом освещении»*. Он пишет: *«Я испрашиваю себе исключительное право эксплуатации новой системы распределения токов..., которое существенно характеризуется употреблением индуктивных катушек, включенных в одну цепь, для получения серии индуктированных токов, которые составляют отдельные источники и позволяют питать раздельные лампы разной силы»*. Тем самым П. Н. Яблочков предложил применение трансформаторов. Специальные трансформаторы для этой цели были изготовлены Иваном Филипповичем Усагиным, лаборантом физического кабинета Московского университета. Первые трансформаторы были с разомкнутым сердечником, но затем И. Ф. Усагин сделал их и с замкнутой магнитной системой. Надо сказать, что индукционные катушки для повышения напряжения в 1844-1847 гг. применялись Б. С. Якоби для взрывания мин по подводному кабелю длиной до 9 км.

Для регулирования тока П. Н. Яблочков использовал конденсаторы переменной емкости. В это время в электротехнике еще не было введено понятие емкостного сопротивления. Яблочков подробно исследовал процессы заряда и пояснил роль конденсаторов в его схемах, показав себя не только изобретателем, но и ученым. Наконец, П. Н. Яблочков, работая с трансформаторами, сделал предположение о возможности передачи энергии при высоком напряжении.

П. Н. Яблочков сделал и ряд ламп накаливания с телом накала в виде каолиновых пластинок или стержней, которые не требовали вакуума. Однако в перспективность ламп накаливания он не верил.

Кертинг и Маттисен в Лейпциге создали усовершенствованную конструкцию дуговой лампы (рис. 50, *а; б*), в которой обеспечивается постоянство сопротивления вольтовой дуги. Регулировочный механизм состоит из двойной катушки *a*, соединенной с системой зубчатых колес *b*. Вся система может поворачиваться вокруг неподвижной оси *f*, а также отклоняться вправо и влево под влиянием силы натяжения сердечника *c*. Если при возникновении тока угли соприкасаются, то возникающий сильный ток приводит в действие отклоняющую систему, разводящую угли на строго фиксированное расстояние. По мере сгорания углей вольтова дуга удлиняется, и отклоняющая система реагирует на изменяющийся ток, плавно уменьшая расстояние между углями. Плавность перемещения углей обеспечивается наличием воздушного тормоза *l* с противовесом *m* из тяжелых металлических пластинок.

Однако из-за серьезных технических проблем, возникших в процессе эксплуатации (наличие открытой дуги, необходимость применения только переменного электрического тока для достижения равномерного сгорания угольных стержней, сложность механической конструкции и др.), а также в связи с появлением электрических ламп накаливания применение электрических свечей оказалось весьма ограниченным. В частности, серьезным недостатком конструкции дуговых ламп было значительное испарение угля стержней под воздействием кислорода на открытом воздухе при возникновении вольтовой дуги.



а *б*

Рис. 50. Дуговая электрическая лампа Кертинга с закрытой дугой (а) и усовершенствованная дуговая электрическая лампа Кертинга и Маттисена (б)

(URL: http://energetika.in.ua/ru/)

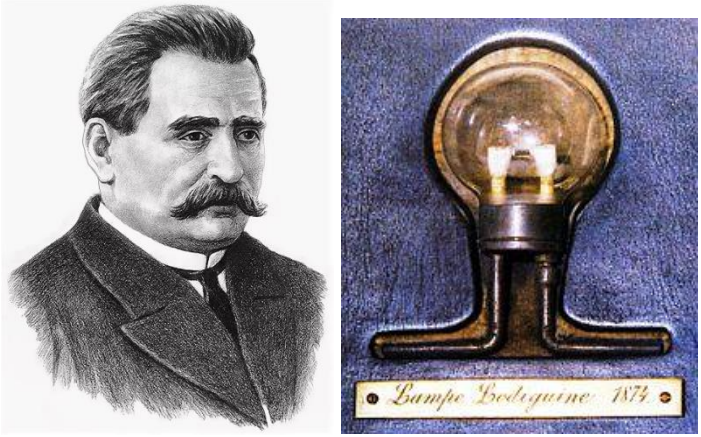
Практичный американец Джандус первым преодолел эту трудность поразительно просто, поместив под колпаком не всю лампу, а только вольтову дугу, оставив контакты угольных стержней вне закрытого сосуда. При возникновении дуги угольный пар, окисляясь небольшим количеством кислорода, имеющимся в замкнутом объеме, образует угольную кислоту. Кислота, смешиваясь с азотом воздуха, образует нейтральную атмосферу, в которой и происходит дальнейшее горение вольтовой дуги. Кроме того, в этом случае значительно изменяется весь характер процесса горения. Угольные стержни сгорают абсолютно одинаково, само горение проходит более плавно и устойчиво, а длительность горения при одинаковом размере стержней увеличивается в 10-20 раз.

Из-за большой сложности конструкции, необходимости мощного источника тока для образования вольтовой дуги и невозможности гибкого «дробления света» дуговые лампы использовались преимущественно в качестве мощных источников освещения (например, на морских маяках).

Изучение теплового действия электрического тока дает второй способ получения света электрическим путем, а именно нагреванием твердого тела при помощи тока до каления. Мысль таким способом пользоваться электрическим током для освещения появилась в начале 80-х годов XIX в. В 1837 г. Жобар в Брюсселе предложил

доводить током до каления и свечения угольную палочку в безвоздушном пространстве. В 1840 г. Грове устроил первую электрическую лампу накаливания, в которой телом нагрева служила платиновая проволока. В 1859 г. профессор Фермер осветил, как он сам утверждал, свой дом в Ньюпорте 42 лампами накаливания и, таким образом, устроил первую домашнюю установку электрического освещения. Первые опыты с электрическими лампами накаливания позволили определить их несомненное преимущество в сравнении с дуговыми, особенно в решении проблемы *«дробления электрического света»* и использовании маломощных ламп для бытового освещения. Получение слабых источников света при помощи дуговых ламп оказалось невозможным. Лампы накаливания имели лучшие экономические и световые показатели, в особенности после замены угольных нитей вольфрамовыми.

Александр Николаевич Лодыгин (рис. 51, *а*) в 1872 г. предложил вместо угольных электродов в свече Яблочкова использовать нить накаливания (сначала угольную, а затем из тугоплавкого металла), которая при протекании электрического тока ярко светилась (рис. 51, *б*). Это было безопасное для людей яркое и дешевое освещение посредством электричества.



а *б*

Рис. 51. Александр Николаевич Лодыгин (1847-1923 гг.) (а), его лампа 1874 г. в Политехническом музее в Москве (б)
(URL: http://историк.рф/; https://www.sudru.ru/)

Александр Николаевич Лодыгин родился в Тамбовской губернии. Окончил Воронежский кадетский корпус и поступил в Московское юнкерское училище. После присвоения первого офицерского чина вышел в отставку и поступил в Санкт-Петербургский

университет, но не закончил его, а начал заниматься электрическим освещением.

Проектируя свет лампы на экран, А. Н. Лодыгин убедился, что свет лампы в основном происходит от раскаленных концов углей, а свет самой дуги мал. *«Поэтому,* – пишет Лодыгин, – *мне пришла в голову мысль заменить вольтову дугу угольным стержнем, который, будучи накален, давал бы свет..., не потребляя лишней энергии. Таким образом, от двух угольных полюсов, соединенных дугой, я пришел к одному тонкому углю, не представляющему перерывов».*

Для реализации своей идеи А. Н. Лодыгин создал товарищество «Лодыгин и К°». Но у товарищества не было денег на проведение работы, хотя в 1874 г. Петербургская академия наук присудила А. Н. Лодыгину Ломоносовскую премию (1000 руб.).

Товарищество возглавил предприниматель Кон, вследствие чего многие образцы ламп называли «Лампы Кона».

В 1873 г. А. Н. Лодыгин осветил улицу в Петербурге в Песках. Применялись лампы и для подводного освещения при строительстве Литейного моста. В 1873-1874 гг. А. Н. Лодыгин демонстрировал освещение в Технологическом институте, а затем устроил временное электрическое освещение в Галерной гавани (Васильевский остров) в Петербурге.

А. Н. Лодыгин работал над лампами с угольным стержнем, запаянным в стеклянной колбе. Он считал, что когда выгорит весь кислород, дальнейшее разрушение стержня прекратится. Позднее А. Н. Лодыгин работал и с вакуумными лампами. Для изготовления стержней А. Н. Лодыгин использовал не ретортный уголь, а уголь, полученный из обугленного в угольном порошке дерева или других растительных волокон. Это впоследствии применяли многие изобретатели ламп накаливания, в том числе и Томас Алва Эдисон.

Эдисону были известны работы А. Н. Лодыгина. Это следует из того, что когда возникло судебное дело в американском суде между Эдисоном и Сваном, суд аннулировал привилегии обоих, мотивируя это существованием патентов А. Н. Лодыгина. Эдисон не изобрел лампу накаливания, но он разработал во всех деталях систему электрического освещения, включая патрон, цоколь лампы и выключатель, а также систему централизованного электроснабжения.

В 1876 г. Кон умер, и товарищество распалось. А. Н. Лодыгин был вынужден поступить слесарем-инструментальщиком, а затем инженером-металлургом в Петербургский арсенал. В 1876 г. свеча П. Н. Яблочкова получила признание за границей; он становится миллионером. Улицы Парижа, театры Лондона стали освещаться

«русским светом». Только после этого свечи Яблочкова стали внедряться в России. В 1878-1884 гг. он работал в товариществе «Яблочков и К°», а в 1884 г. уехал в Париж, где работал на заводе над усовершенствованием своих ламп. Лампы стали изготовляться в промышленных масштабах. Сила света их составляла от 10 до 100 свечей с энергоемкостью 0,8-1,8 Вт на свечу. Срок службы доходил до нескольких сот часов, хотя из-за недостатков технологии качество было очень неоднородным. В 1906 г. американская фирма приобрела патент А. Н. Лодыгина на лампу накаливания с металлической нитью. Ряд патентов приобрели и фирмы других стран.

В 1906 г. А. Н. Лодыгин вернулся в Россию, где хотел продолжать работу, но признания не нашел. Через 32 года после освещения первой улицы А. Н. Лодыгину предложили должность заведующего подстанциями Петербургского трамвая с чисто административными функциями. А. Н. Лодыгин снова уехал в Америку, 2 ноября 1923 г. А. Н. Лодыгин умер. А. Н. Лодыгин писал, что электрический свет должен быть единственным искусственным светом как по своей силе и ровности, так и по безопасности и дешевизне.

Список изобретений А. Н. Лодыгина очень велик. В него входят электрические индукционные печи и печи сопротивления, сварочные аппараты, аккумуляторы, электрические приборы, извлечение из руд алюминия и других металлов, электровертолет, скафандр и многое, многое другое.

Дмитрий Александрович Лачинов изобрел много различных приборов: регулятор напряжения, оптический динамометр, способ центробежной отливки рефлекторов (рис. 52).

Дмитрий Александрович Лачинов начал обучение в Московском университете на физико-математическом факультете. Когда в 1861 г. университет был временно закрыт из-за студенческих волнений, Д. А. Лачинов окончил курс за границей (учился у Густава Роберта Кирхгофа, Германа Людвига Гельмгольца). После возвращения Д. А. Лачинов сдал экзамены за полный курс университета и получил место профессора физики в Петербургском лесном институте.

Рис. 52. Дмитрий Александрович Лачинов (1842-1902 гг.)
(URL: http://chestroelof.blogspot.ru/)

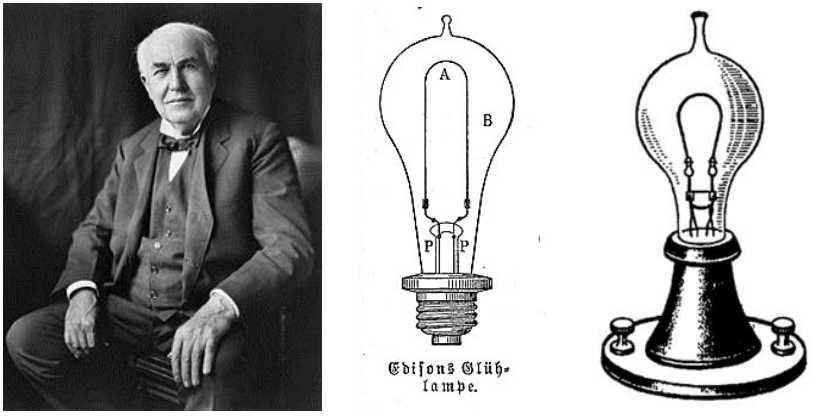
К работам Д. А. Лачинова относятся метод изготовления аккумуляторов из губчатого свинца, способы регулирования электрических машин. В его труде «Электромеханическая работа» впервые обоснованы условия передачи электроэнергии на большие расстояния, схема аккумулятора из губчатого свинца, сыгравшего существенную роль в развитии подводного флота, и схема дефектоскопа Д. А. Лачинова. Очень интересны исследования Д. А. Лачиновым процессов, происходящих в дуге (сила света, сила тока, обратная ЭДС в дуге, сопротивление дуги). Большой интерес представляет статья «*Электромеханическая работа»*, помещенная в 1880 г. в журнале *«Электричество»*. Д. А. Лачинов впервые поставил вопрос о передаче механической энергии с помощью электрического тока и исследовал вопрос о КПД передачи. В одной из своих работ Д. А. Лачинов писал: *«Универсальность электричества навела многих ученых на мысль об устройстве центрального завода, из которого электричество разносило бы во все концы города ... свет, работу, химическую энергию»*, т.е. высказал мысль о создании энергетических систем.

Вопрос передачи электрической энергии по проводам на большие расстояния поставил впервые в 1760 г. М. В. Ломоносов; Д. А. Лачинов и М. Депре провели теоретические разработки электропередачи; Ф. А. Пироцкий и Фонтен впервые осуществили передачу с помощью изолированных проводов и обычных рельсовых путей.

Томас Эдисон (рис. 53, *а*), талантливый американский инженер-электротехник, изобретатель, который свои идеи и идеи других

быстро претворял в жизнь. Им была усовершенствована лампа накаливания Лодыгина (откачал из баллона лампочки воздух, придумал цоколь с винтовой нарезкой и т.п.); заводы Эдисона стали выпускать лампы накаливания миллионами штук во всем мире.

Эдисон Томас Альва – американский электротехник, изобретатель, основатель крупных электротехнических предприятий и компаний. Родился в г. Майлане (штат Огайо) в семье голландских эмигрантов. Получив начальное образование, в 12 лет начал работать разносчиком газет на железной дороге, а затем телеграфистом. Прослужив несколько лет в различных городах США, Эдисон в 1868 г. поселился в Бостоне, затем жил в Нью-Йорке (штат Нью-Джерси), где занялся исключительно изобретательством. В этот период он сконструировал автоматический счетчик голосов, прибор для передачи на расстояние телеграфными методами биржевых курсов, мимеограф, электрическое перо, усовершенствовал пишущую машинку. В это же время Эдисоном были начаты работы по многократной телеграфии – дуплексная и квадруплексная системы. В Нью-Йорке Эдисон организовал мастерские, в которых изготовлялись изобретенные им аппараты. В 1876 г. Эдисон переехал в Менло-Парк, где создал более крупную лабораторию с мастерскими. Здесь протекала его деятельность в течение 11 лет – до 1887 г. Наиболее важные работы Эдисона за этот период – усовершенствование телефона Белла путем введения его в схему индукционной катушки и угольного микрофона, отчего громкость и четкость передачи возросли; изобретение фонографа (1877 г.) и его усовершенствование; усовершенствование ламп накаливания (1879 г.); разработка системы освещения.



а *б*

Рис. 53. Эдисон Томас Альва (1847–1931) (а) и чертеж его лампы (б)

Эдисон изобрел патрон и уголь к винтовой нарезке (*«нарезке Эдисона»*) для ламп, предохранитель с плавкими вставками, поворотный выключатель, электрический счетчик и другие приборы для эксплуатации электрического освещения. Эдисон ввел в практику параллельное включение ламп, предложил трехпроводную систему канализации постоянного тока. Он сконструировал самые мощные для своего времени генераторы, в 1882 г. пустил в эксплуатацию первую в мире электрическую станцию общественного пользования (в Нью-Йорке на Перл-Стрит). К этому же периоду относятся опыты Эдисона по электрификации железных дорог, по проблеме магнитной сепарации руды и др.

К концу 1860 г. Эдисон осуществил большие коммерческие операции по эксплуатации построенных им электростанций в США и в Европе, по производству и продаже различных электрических приборов, аппаратов и машин, по изготовлению и продаже ламп накаливания. С 1887 г. до конца своей жизни он прожил в Уэст-Орландже, располагая большими материальными средствами и владея крупными предприятиями в США и в Европе. В этот период Эдисон усовершенствовал фонограф (1889 г.), заменив в нем окованную фольгу вощеным деревянным цилиндром; изобрел железнодорожный тормоз (1887 г.), в котором токи Фуко действуют на медные диски и вызывают торможение; построил щелочные железнодорожные аккумуляторы; изобрел кинескоп, телескриб (диктовальная машина), аппарат для записи телефонных разговоров. Он усовершенствовал кинематографическую камеру, разработал методы брикетирования рудной мелочи, методы строительства литых бетонных домов, производства цемента и др.

В 1883 г. Эдисон при исследовании причин почернения ламп накаливания обнаружил физическое явление (*«эффект Эдисона»*), заключающееся в том, что между накаленной нитью лампы и соединенным с положительным полюсом патрона, включенным в лампу третьим электродом, обнаруживается ток. Это было первое в истории техники наблюдение явления термоэлектронной эмиссии.

Эдисон превратил электрическую энергию в товар, продаваемый всем желающим, а электрическую установку – в систему централизованного электроснабжения. В 1889 г. на Международной выставке в Париже чествовали двух самых знаменитых инженеров века – Эйфеля и Эдисона. В кафе на Эйфелевой башне был дан торжественный обед, на котором 71-летний композитор Шарль Гуно

исполнил специально сочиненную торжественную кантату (собственноручно написанный экземпляр ее он преподнес жене и дочери Эдисона).

Александр Ильич Шпаковский (1823-1881 гг.) создает в 70-х годах XIX в. дуговую лампу с электромагнитным и механическим регулированием, а в 1864 г. создает первый автоматический регулятор давления пара прямого действия.

А. И. Шпаковский происходил из дворян Смоленской губернии, образование получил в Новгородской гимназии и в январе 1840 г. поступил на службу в Перновский гренадерский полк.

В 1842 г. был переведен прапорщиком в гренадерский эрцгерцога Франца-Карла полк, а в следующем году – в Астраханский карабинерный. В мае 1847 г. он был прикомандирован к Павловскому кадетскому корпусу, в феврале 1851 г. – утвержден репетитором по физике в корпусе, а в октябре 1854 г. – назначен преподавателем того же предмета.

По упразднении Павловского кадетского корпуса 31 октября 1863 г. переведен в 1-е военное Павловское училище штатным преподавателем по физике; 27 марта 1866 г. произведен, за отличие по службе, в подполковники с зачислением по армейской пехоте и с оставлением при училище; 15 октября 1867 г. переведен в 12-й гренадерский Астраханский полк, а 20 апреля 1869 г. произведен в полковники, с оставлением при училище.

В январе 1870 г. вышел в отставку, а в октябре того же года определен на службу по Министерству внутренних дел, с откомандированием для занятий в строительное отделение Санкт-Петербургского городского правления по механической части. Шпаковский был известен как один из замечательнейших деятелей по развитию различных отраслей техники в России. Не будучи специалистом-техником, а лишь самоучкой, он пользовался, однако, в 60-х и 70-х годах большой известностью, благодаря своим многочисленным изобретениям, находившим нередко обширное применение не только в России, но и за границей.

Его деятельность в качестве изобретателя началась со времени назначения его преподавателем физики в кадетском корпусе. В 50-х годах он устроил остроумный регулятор для дуговых электрических фонарей, введенный с августа 1856 г. в Москве. Описание этого регулятора напечатано в статье *Le Roux: «Regulator für das elektrische Licht von prof. Spakowski in St.-Petersburg»*. Ещё большее применение получил изобретённый им аппарат для производства ночных сигналов во флоте. В конце 1865 г. прибор этот был передан

Морским министерством для испытания в Морской учёный комитет и сигнальную комиссию по всем вопросам сигналопроизводства. После целого ряда самых тщательных опытов прибор Шпаковского был признан отличным, и Морское министерство распорядилось снабдить этими приборами всю броненосную эскадру и суда, отправлявшиеся за границу (1866 г.). Не довольствуясь этим успехом, Шпаковский решил отправить своё изобретение на суд английского флота и получил полное одобрение.

Работая над своим сигнальным фонарем, Шпаковский в 1866 г. предложил воспользоваться пульверизацией для применения её к паровым котлам с жидким топливом, главное удобство которых – лёгкость, отсутствие трубы и искр и быстрота разводки паров – делали их особенно полезными всюду, где необходимо было выиграть в пространстве, в весе прибора и уменьшении площади помещения для топлива. На пульверизации горючей жидкости основана была также изобретённая им лампа, в которой скипидар разбивался в пыль механическим способом.

В 1867 г. Шпаковский построил новую паровую пожарную машину, для которой он применил пульверизационную топку. Машина отличалась чрезвычайной лёгкостью, простотой устройства и быстротой изготовления паров. Получив заказ от Министерства внутренних дел на изготовление 6 подобных машин и обещание заказать ему ещё 60 шт., Шпаковский устроил фабрику паровых пожарных машин в Петербурге, но вследствие перехода пожарного дела в ведение города заказ этот не состоялся, отчего Шпаковский потерпел большие убытки.

В том же 1867 г. Шпаковский представил Вольному экономическому обществу паровую пожарную лодку с изобретённым им паровым котлом с пульверизацией, 26 сентября того же года он производил весьма удачные опыты на Неве с этой лодкой. Тогда же он произвел ряд исследований, по поручению одной из Каспийских пароходных компаний, относительно выгодности применения нефти для топки больших пароходных котлов. Затем, в 1870 г., он занялся химической обработкой каменного угля, произвел ряд исследований над получением жидких углеводородистых соединений из угля, устроил аппарат для добывания светильного газа из угольного масла, а также особую печь непрерывного действия для сухой перегонки каменного угля.

В 1872 г. он изобрел дымогарный очаг, предназначенный для отапливания каменным углем, коксом и торфом обыкновенных комнатных печей и обусловливавший надлежащее сгорание топлива и перегорание не успевшего сгореть в очаге дыма. Очаг этот в

марте и апреле 1873 г. был исследован и одобрен соединенной комиссией Русского технического общества и Общества архитекторов.

Кроме вышеописанных изобретений, Шпаковский изобрел ещё водоподъёмный инжектор (1868 г.), проволочные бесконечные ремни вместо кожаных (1873 г.), усовершенствовал способ переработки натровой селитры в калиевую (1872 г.), упростил способ фабрикации поверочных камер для артиллерийского ведомства (1872 г.), изобрел упрощенный способ изготовления шаровидного торфа и стал изготовлять из торфяной массы кирпичи для внутренней отделки домов, а также орнаменты (1873 г.). В 1874 г. он занимался изготовлением массы для углей дуговых ламп по способу Лодыгина, в 1875 г. – разработкой способов изготовления лаков и олифы, в 1876 г. изготовлением искусственного цемента, а в 1877 г. он составил проект сигнализации посредством пуль с парашютом, а также посредством небольших цветных аэростатов и монгольфьеров с азотным метилом.

Имея в 50-х годах фотографию (фотоателье) в Санкт-Петербурге, считавшуюся в то время самой лучшей, он ввел целый ряд усовершенствований в способах печатания и, между прочим, старался применить к нему легкоплавкие сплавы по способу Вудбюри (1878 г.).

Простое перечисление всех изобретений Шпаковского свидетельствует о его неутомимой энергии. Тем не менее, будучи человеком мало практичным, он не сумел извлечь материальных выгод из своих работ: ими воспользовались другие. Доведенный неблагоприятно сложившимися обстоятельствами почти до нищеты, он в 1878 г. поступил по вольному найму в минные мастерские в Кронштадте, где занялся исправлением различных физических приборов. И там он не переставал работать над своими изобретениями, усовершенствовал гальванический замыкатель, занимался разработкой ракетных составов, и результатом этих работ явилось важное изобретение в минном деле, основанное на применении изобретённого им ракетного состава к движению мин. Это изобретение, будучи доведено до конца, дало бы ему возможность выпутаться из критических обстоятельств, так как по контракту, заключённому с Морским министерством, он при успешном окончании этого дела должен был получить 50000 руб., но и тут судьба помешала осуществлению его надежд.

Во время присутствия Шпаковского в минном классе в Кронштадте произошёл сильный взрыв при набивке патронов гремучим

составом, и он получил сильную контузию, вызвавшую кровоизлияние около полости затылочного мозжечка, последствием чего явились нервные припадки, сильно потрясшие его организм и сведшие его в могилу. Не будучи в состоянии лично продолжать работы по своему изобретению и не получив разрешения передать его доверенному лицу, которое бы занималось под его руководством, он получил обратно аннулированный контракт с министерством. До чего доходила его энергия, видно из того, что, не будучи уже в состоянии, вследствие начавшегося паралича спинного мозга, работать стоя, он все-таки одно время работал над своим изобретением сидя, поддерживаемый кем-нибудь сзади.

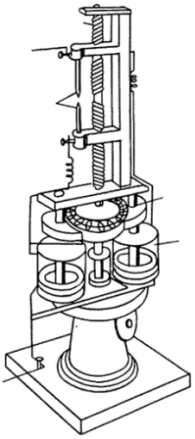
Ещё до потери своей работоспособности он изобрел особый способ приготовления призматического пороха и приказом генерал-фельдцейх-мейстера от 23 сентября 1880 г. был допущен на Охтинский пороховой завод для приготовления 5 пудов изобретённого им пороха, на что ему было отпущено 300 руб. Между тем болезнь его, вызванная контузией при взрыве, быстро подвигалась вперед. Сперва он, за неимением средств, был помещен в клинический военный госпиталь, а затем, после признания его неизлечимым, в больницу для умалишенных Святого Николая Чудотворца, откуда был переведен в мае 1881 г. в больницу для чернорабочих на Удельной, где вскоре и умер. Даже на смертном одре его не покидала страсть к изобретениям, и он все просил докторов принести ему желатина, альбумина, глицерина и каких-то ещё других веществ, из которых он хотел составить для себя новую нервную систему взамен старой, которая уже испортилась и должна быть заменена.

Владимир Николаевич Чиколев (рис. 54, *а*) создает регулятор для стабилизации горения электрической дуги. Он же применил систему дробления света дуги, раздробив свет дуговой лампы в 3000 свечей на 60 источников света с помощью системы линз, зеркал и трубок с отражающими внутренними стенками – световодами. С помощью такого устройства был освещен Охтинский пороховой завод. В. Н. Чиколев усовершенствовал прожекторы, применив кольцеобразные стекла и зеркала. Он является основоположником отечественной светотехники, применения фотографии для определения скорости полета снарядов и многого другого. Принимал активное участие в создании первых электростанций.

Владимир Николаевич Чиколев родился в Смоленской области. Оставшись сиротой, он был отдан на обучение в сиротский кадетский корпус. По окончании он уволился с военной службы и поступил вольнослушателем на физико-математический факультет

Московского университета. Жил на случайные заработки. По окончании поступил ассистентом в физический кабинет Петровской (ныне Московской Тимирязевской) сельскохозяйственной академии. В 1876 г. В. Н. Чиколев поступил на должность делопроизводителя электротехнического отдела Артиллерийского комитета в Петербурге и работал там до конца жизни.

а



б

Рис. 54. Владимир Николаевич Чиколев (1845-1898 гг.) (а) и его дифференциальная лампа (б)
(URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/; http://funeral-spb.ru/necropols/)

Можно по-разному оценивать отношение В. Н. Чиколева к лампам накаливания и приверженность к дуговому освещению, но, работая над совершенствованием дугового освещения и применения оптических устройств, В. Н. Чиколев сделал много изобретений. Так, он разработал специальные лампы освещения на расстоянии для пороховых заводов. Усовершенствованные им прожекторы с составными кольцеобразными стеклами применялись при обороне Порт-Артура в войне с Японией. В. Н. Чиколев – основоположник отечественной светотехники. Он разработал и осуществил остроумный метод испытания зеркал прожекторов, применил методы фотографии для определения скорости полета снарядов. В. Н. Чиколев также изобрел электрический фонарь для пороховых заводов и погребов, то есть положил начало изготовлению взрывобезопасного оборудования. Вместе с Р. Э. Классоном В. Н. Чиколев строит электростанцию на Неве для питания осветительных приборов на Охтинском пороховом заводе.

В историю электротехники В. Н. Чиколев вошел как активный популяризатор. В 1872 г. он был одним из организаторов электротехнического отдела Политехнического музея в Москве, в то время одного из важнейших распространителей технических знаний. В 1880 г. вместе с группой электротехников В. Н. Чиколев организовал журнал *«Электричество»*. Им написаны книги «*Чудеса техники и электричества»* и *«Не быль, но и не выдумка» (об электричестве)*. В. Н. Чиколев был человеком высокой честности и порядочности, что показал, работая приемщиком электротехнического оборудования для русской артиллерии. В редакции журнала «*Электричество»* он, его жена и дочь работали безвозмездно.

Вокруг журнала *«Электричество»* благодаря организаторской работе В. Н. Чиколева создалась большая группа электриков, не только продвинувших вперед науку, но и широко применявших электротехнику в промышленности.

3.3. Из истории развития электрического нагрева и сварки

Примеры использования электрического тока для освещения, рассмотренные ранее, также представляют собой тепловое действие тока, получившее самое широкое распространение. Остальные виды применения этого теплового действия значительно уступали первому не потому, что их было труднее осуществлять в техническом отношении или пользоваться ими, а по очень простой, но важной причине: добываемое электрическим путем тепло обходилось слишком дорого.

Теплота, добываемая электрическим путем, обходится намного дороже теплоты, получаемой непосредственным сжиганием угля. Однако в первом случае, пользуясь полученной теплотой для разных целей, можно ее использовать со значительно большей пользой, чем во втором случае. Расчеты показывали, что в некоторых условиях потери тепла при непосредственном нагревании углем так велики, что это нагревание может обойтись дороже нагревания током. Впрочем, справедливость подобных заключений окончательно могла быть выяснена лишь опытным, эмпирическим путем. Исследования в этом направлении предпринимались с самого момента создания мощных источников электрического тока. Из того, что уже было сделано к началу XX в., вытекает, что электричество не может конкурировать с огнем в тех случаях, когда речь

идет о получении невысокой температуры, как, например, в некоторых случаях при отоплении. Но при необходимости получения очень высоких температур потери тепла при нагревании огнем настолько значительны, что вопрос о том, не будет ли электрическое нагревание обходиться дешевле, является вопросом уместным и очень серьезным.

Исследования показывали, что для того, чтобы, например, накалить железный стержень в кузнечном горне, приходилось использовать почти в сто раз большее количество тепла, чем то, которое действительно было необходимо для этого. При этом 99% тепловой энергии, не сообщающихся стержню, теряются в дымовых газах теплопередачей через лучеиспускание и отдачу теплоты стенками печи. При электрическом накаливании, наоборот, 80% доставляемой динамо-машиной электрической энергии передаются стержню в виде теплоты. Однако при электрическом нагревании необходимо устройство дорогой электростанции, тогда как при нагревании пламенем можно ограничиться устройством относительно дешевой печи.

Оставляя в стороне экономическую точку зрения, во многих случаях приходилось принимать во внимание лишь надежность, применимость и степень накаливания (нагревания).

Электрическое отопление. Нагревание током достигается очень просто, так как ток нагревает каждый проводник, по которому он проходит. Количество тепла, выделяемого в проводнике, в соответствии с законом Ленца-Джоуля, зависит от его сопротивления и силы проходящего через него тока, а потому имеется возможность получить не только какую угодно температуру, но и какое угодно сосредоточение теплового действия. Для этого необходимо только подбирать соответственно сопротивление проводника и его поперечное сечение. Таким образом, как теоретически утверждали исследователи, в очень малом пространстве можно получить любое количество теплоты.

Сегодня электрическое отопление широко применяется в развитых странах, производящих большое количество так называемой первичной электроэнергии на ГЭС и АЭС. Например, в конце XX в., в Норвегии электричеством отапливается 60% жилого фонда, в США – 30%, а в штате Флорида – 92% жилья. Выработка первичной электроэнергии не сопровождается загрязнением атмосферы вредными продуктами сгорания топлива и является существенно более дешевой (в 2-4 раза), чем электроэнергия, получаемая из угля или природного газа.

Если речь идет об отоплении, то нет надобности сильно повышать температуру нагревателя, так как понятие «отопление» в нашем разговорном языке обозначает нагревание до сравнительно невысокой температуры – все равно, необходима ли она для защиты от холода или для кулинарии. Поэтому под электрическим отоплением будут подразумеваться все те процессы нагревания, при которых температура не превышает 200°С, то есть можно говорить о том, что это низкотемпературный электрический нагрев.

У нагревателя должно быть определенное сопротивление и, кроме того, он должен быть по возможности небольших размеров. Для получения требуемого режима и параметров нагрева следует только расположить в необходимом месте проводник соответствующего сопротивления. При этом нагревателю придавали различные формы.

Отопление с помощью электричества в начале XX в. оказалось очень дорогим, а в России при сильных зимних холодах оно было совершенно немыслимым. Несмотря на это, много раз пытались придать ему практическое применение. Первые попытки, а также и первые приборы для этого появились в Европе.

В Америке предлагали отапливать с помощью тока вагоны электрических железных дорог. Подобные предложения делались во Франции и в других странах для отопления пассажирских вагонов.

На рисунке 55 показан общий вид электрического нагревателя для пассажирских вагонов. Внутри него был расположен ряд проволочных спиралей, по которым ток проходил последовательно и нагревал их. На рисунке 56 показана внутренняя конструкция такого простого нагревателя. На крепком асбестовом шнуре навивалась проволочная спираль, по которой протекал электрический ток. В качестве материала для проволоки использовали металлический сплав большого удельного сопротивления, например *«круппин»*, производившийся на литейных заводах Круппа.

Если бы требовалось устроить электрический нагреватель для отопления большой комнаты, то пришлось бы взять проволоку толще и длиннее и расположить ее в закрытом железном футляре.

Электрические нагреватели воздуха в техническом отношении не представляли такого интереса, как устройства, служащие для нагревания жидкости, например, воды. Такой электрический кипятильник состоял из платиновой проволоки, плотно навитой вокруг широкой и короткой стеклянной трубки. В этом виде он опускался в нагреваемую воду и с помощью тока доводил ее до кипения. Пре-

имуществом устройства было то, что вода воспринимала всю выделяющуюся теплоту. Но эта конструкция не отвечала гигиеническим требованиям чистоты. Поэтому в некоторых электрических кипятильниках нагревающаяся проволока располагается сбоку или снизу резервуара для воды. Пример такого электрического чайника показан на рисунке 57. Если бы не дороговизна пользования, то это был бы прекрасный безопасный и бесшумный кипятильник. Там, где дешевый ток производился с помощью водяной силы, эти приборы получили распространение.

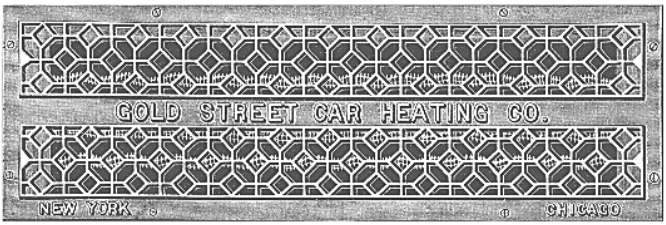


Рис. 55. Электрический нагреватель для комнат и вагонов
(URL: http://energetika.in.ua/ru/)

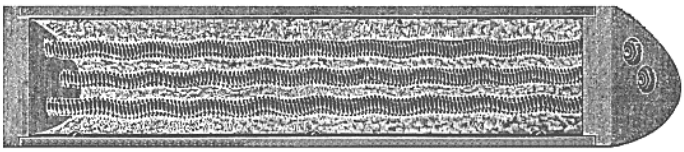


Рис. 56. Внутреннее устройство электрического нагревателя
(URL: http://energetika.in.ua/ru/)

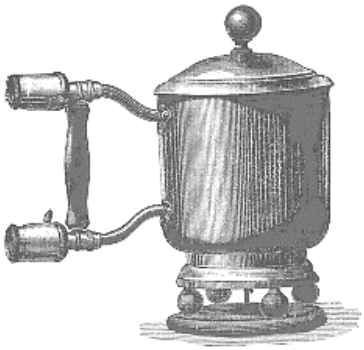


Рис. 57. Один из вариантов первых образцов электрического чайника
(URL: http://energetika.in.ua/ru/)

В Америке серьезно занялись вопросом применения электрических печей для кухни. Полагали, что электрическая печь, подобно

газовой печи, экономична в том отношении, что ее приводят в действие исключительно на время, в течение которого она нужна. Такая печь безопасна, изящна, и в ней меньше тепла, чем в обычной печи, тратится бесполезно. На рисунке 58 показана одна из первых электрических кухонных печей начала XX в.

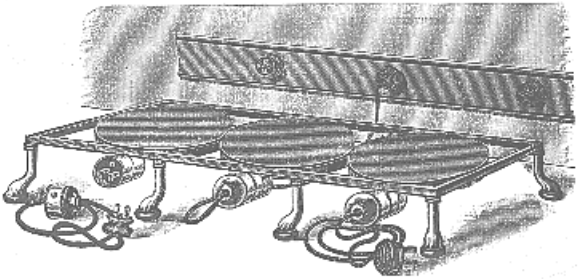


Рис. 58. Электрическая кухонная печь начала XX в.
(URL: http://energetika.in.ua/ru/)

На рисунке 59 приведен пример еще одного оригинального применения электричества для нагревания – электрический инкубатор. Здесь требовалось сравнительно незначительное количество тепла и электрическое нагревание оказалось особенно удобным благодаря легкой и надежной регулировке температуры. Введя в цепь термометр, можно легко замыкать ток при понижении температуры в нагреваемом помещении и затем прерывать его снова при повышении температуры.

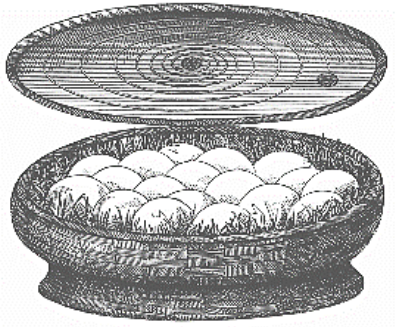


Рис. 59. Электрический инкубатор Шторбека
(URL: http://energetika.in.ua/ru/)

Первым применил для этой цели электричество еще в 1883 г. немецкий инженер Шторбек. Его электрический инкубатор (рис. 59) состоял из большой плоской корзины, которая выкладывалась сеном и превращалась в гнездо. На эту корзину накладывалась

электрическая насадка, т.е. крышка корзины, которая также набивалась сеном и имела по внутренней стороне спиралеобразно свитую нагревающую проволоку. Сквозь крышку внутрь корзины проходил термометр и в соответствии с его показаниями регулировалась сила тока. Изобретатель остановился на этом устройстве, чтобы получить как можно близкое подражание природе.

Во всех рассмотренных аппаратах телом, непосредственно нагреваемым током, являлась металлическая проволока. Обычно это была платиновая проволока, обмотанная поверх асбестовой прослойки. Иногда проволоку, даже платиновую, заключали в огнеупорную глину и в таком виде прикрепляли к сосуду. Более современный способ заключался в нанесении на нагреваемую проволоку эмали. При этом железную пластинку покрывали основным слоем эмали с возможно более высокой точкой плавления. На этом слое располагали зигзагообразно проволоку, которую закрепляли тонким слоем легкоплавкой эмали. Так как было трудно покрыть проволоку эмалью настолько равномерно, чтобы она нигде не соприкасалась с воздухом, то поверх всего накладывали еще и третий слой эмали. В связи с тем, что тепловое расширение проволоки иное, чем у слоя эмали, последняя со временем растрескивается, и между проволокой и пластинкой могут возникать короткие замыкания.

Совсем иную систему для электрического нагревания создали Фуа и Геффнер во Франкфурте-на-Майне. Вместо нагревающих проволок они стали применять совсем тонкие, подобные используемым при фарфоровой и декоративной живописи, слои благородных металлов. При ничтожном поперечном сечении, составляющем 0,001 мм^2, эти слои могли пропускать сравнительно большой силы ток. Представляя из себя широкую, тонкую ленту, они прилегали настолько плотно к подложке, что вся подводимая током энергия превращалась в теплоту и передавалась массе сосуда.

Золотые или платиновые слои помещались внутри сосуда в прямом соприкосновении с нагреваемой жидкостью. Таким образом, они непосредственно нагревали его содержимое, тогда как стенки сосуда получали сравнительно немного теплоты.

Электрическая сварка и пайка. Одно из самых интересных применений теплового действия тока представляют собой электрическая сварка и пайка металлов. Эти процессы вызывали всеобщий интерес со времени изобретения технологии получения больших токов и в начале XX века с технической стороны были доведены до известного совершенства. Данная технология позволяет соединять куски металла без всякого припоя, что ранее было возможно только

для немногих из металлов. Указанное обусловлено тем, что при помощи тока металлы в местах сваривания нагреваются настолько, что они достигают размягчения, при котором делается возможным их соединение под давлением. При нагревании на огне столь высокое местное нагревание неосуществимо, так как подобное нагревание сопровождалось бы плавлением всего куска или значительной его части.

Вначале были известны два способа сваривания металлических поверхностей с помощью тока. При первом теплота создавалась вольтовой дугой, которую заставляли действовать на свариваемое место. Этот способ можно назвать электрической пайкой. При другом способе ток из одного куска металла в другой пропускается через место соприкосновения. Вследствие сравнительно большого сопротивления последнего в нем создается высокая температура, которая расплавляет и сваривает прилегающие металлические части. Итак, разница между двумя способами заключалась только в том, что теплота или доставляется соединяемым частям извне, или развивается внутри них. Общее в них то, что соединение производится расплавляющимся металлом обоих свариваемых кусков.

Опыты электрической пайки предпринимали еще задолго до XX в., но первую попытку поставить ее на практическую основу сделал Н. Н. Бенардос.

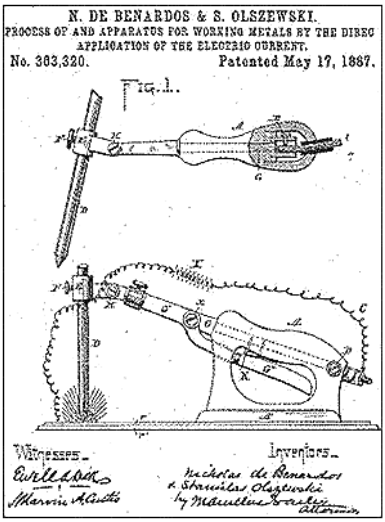
Его способ состоял в том, что между соединяемыми металлическими частями и угольным стержнем, играющим роль паяльника, создавали вольтову дугу и действовали ею на соединяемые места. Теплота дуги сплавляет соприкасающиеся края и соединяет оба куска. Итак, надо только соединить оба или один из металлических кусков с одним полюсом генератора тока, а угольную палочку – с другим. Затем, прикоснувшись концом этой палочки к соединенному с генератором тока куску металла, удаляют ее от последнего на несколько миллиметров, вследствие чего образуется вольтова дуга, которую двигают соответствующим образом по соединяемому месту.

Николай Николаевич Бенардос (рис. 60, *а*) родился в селе Бенардосовке Елисаветградского уезда Херсонской губернии (в настоящее время село Мостовое Братского района Николаевской области Украины). Детство Николая прошло в имении родителей, где он и получил домашнее начальное образование, проявляя большое влечение к всевозможным ремёслам, целые дни проводя в небольших мастерских отца, обслуживающих нужды усадьбы, где овладел навыками работы кузнеца.

В 1862 г. Николай поступил на медицинский факультет Киевского университета святого Владимира, где во время обучения сделал своё первое известное изобретение – зубную пломбу, которую он изготовил из серебра (серебряную «пуговку»), избавив от зубной боли своего денщика.

В 1866 г. Бенардос оставил медицину и перевёлся в Петровскую земледельческую и лесную академию в Москве по отделу сельскохозяйственных наук и, проучившись до 1869 г., ушёл оттуда, целиком посвятив себя изобретательской деятельности. В период обучения в академии Н. Н. Бенардос разработал и опробовал целый ряд изобретений в области усовершенствования различных сельскохозяйственных орудий. Так, например, в 1866 г. он создал проект плуга с вращающимся отвалом с целью уменьшения до минимума трения между частями плуга и земельным пластом, однако этот проект так и остался на бумаге.

а


N. DE BENARDOS & S. OLSZEWSKI.
PROCESS OF AND APPARATUS FOR WORKING METALS BY THE DIRECT APPLICATION OF THE ELECTRIC CURRENT.
No. 363,320. Patented May 17, 1887.
Fig. 1.
Witnesses
Inventors
Nicholas de Benardos
& Stanislas Olszewski
by Mauelle & Bradley
Attorneys

б

Рис. 60. Николай Николаевич Бенардос (1842-1905 гг.) (а) и Патент на способ дуговой электросварки «Электрогефест» (б)
(URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/; https://upload.wikimedia.org/)

Весной 1867 г. Бенардос посетил открывшуюся в Париже Всемирную выставку, в надежде на реализацию своих планов в области изобретательства.

В 1868 г. женился и решил осесть в родных краях. При усадьбе «Привольное» были двухэтажный дом, построенный в турецко-

японском стиле с фонтаном, пагодами и даже пятисаженной пирамидой, большой фруктовый сад и оранжерея, а также хорошо оборудованные слесарные, механические, деревообделочные мастерские и кузница. Он сконструировал, а затем соорудил собственными руками несколько оригинальных сельскохозяйственных орудий. Практически все свои средства Бенардос пускал либо на техническое обеспечение своих исследований, либо на устройство жизни окрестных крестьян. Он оказывал широкую медицинскую помощь жителям соседних деревень, организовал аптеку и выдавал из неё бесплатно лекарства. Построил в усадьбе им изобретённую механическую прачечную, предтечу стиральной машины, библиотеку и первую и единственную в тех местах школу, в которой бесплатно обучались крестьянские дети. Всё необходимое для учебного процесса он также покупал на свои средства.

Бенардос активно участвовал в общественной деятельности. В 1870-1873 гг. он избирался в Юрьевецкое уездное и Костромское губернское земские собрания. По заявлению Николая Николаевича IX очередное уездное земское собрание постановило ходатайствовать перед правительством о введении обязательного обучения.

Весной 1877 г. осуществил постройку колёсного парохода с поворотными лопастями, способного преодолевать речные перекаты, мели, обходить мельничные плотины и подобные препятствия по суше. Для испытания своей модели изобретатель предпринял трёхсоткилометровое путешествие по рекам Луху и Клязьме вплоть до Гороховца, после чего судно было доставлено в Санкт-Петербург, но новый вид транспорта остался без внимания чиновников и промышленников, в результате пароход был продан на слом и разобран на дрова.

В феврале 1877 г. Бенардос сконструировал специальный снаряд для перевозки дров и других тяжестей. На это изобретение ему был выдан патент, прислана благодарность из Сельскохозяйственного музея Санкт-Петербурга, но, хотя ряд землевладельцев завёл подобные снаряды в своих хозяйствах, в промышленное производство он внедрён так и не был.

В последующие годы Николай Николаевич все свое внимание уделил работам в области электротехники. Ещё при постройке парохода Бенардосу часто приходилось соединять крупные металлические детали. Делалось это кузнечной сваркой, однако в мастерских Бенардоса не было больших нагревательных печей. Поэтому изобретатель попробовал греть кромки вольтовой дугой, до их проковки, при этом металл часто оплавлялся и соединял небольшие участки.

В середине 1870-х годов Бенардос познакомился с инженером и изобретателем А. И. Бюксенмейстером, основавшим в 1878 г. неподалеку от Кинешмы завод по производству аккумуляторов, угольных изделий и электродуговых ламп (ныне завод «Электроконтакт»). Дружба с Бюксенмейстером, безусловно, способствовала изобретательской деятельности Николая Николаевича. Владелец завода снабжал его электрохимическими источниками тока, электроуглями и другими необходимыми материалами. Бенардос получил широкую возможность экспериментировать с электрической дугой, работать в области изыскания конкретных направлений практического использования электричества. Совместно с Бюксенмейстером он провёл ряд экспериментов с аккумуляторными батареями.

Переехав в 1879 г. в Санкт-Петербург, Бенардос поступает на работу на завод электротехнического отдела при товариществе «Яблочков-изобретатель и К°». С П. Н. Яблочковым он познакомился ещё в 1876 г., в одну из поездок за границу, после чего между ними возникли творческие связи, перешедшие в большую дружбу. Через Яблочкова Бенардос познакомился с виднейшими зарубежными и русскими электротехниками того времени, общение с которыми оказалось весьма полезным для развития научно-технической деятельности Бенардоса и способствовало ускорению реализации многих его изобретений. Он принимал непосредственное участие в распространении в России электрического способа освещения. С этой целью он по поручению завода совершил поездку в Закаспийскую область. Руководство завода предоставило изобретателю полную возможность проведения необходимых опытов. За время работы на заводе Бенардос изобрёл специальный подсвечник для свечи Яблочкова с автоматическим переключением тока, машину для изолировки кабеля, машину для оплётки проводов и т.д.

Весной 1881 г. Николай Николаевич Бенардос в качестве сотрудника фирмы «Яблочков-изобретатель и К°» отправился на Международную электрическую выставку, проходившую в Париже. Подготовка экспозиции выставки проходила в экспериментальной лаборатории при журнале *«Электрисьен»*, содиректором которой был русский физик Николай Иванович Кабат. Здесь Бенардос начал работу над улучшением аккумуляторов, предназначавшихся для электрического освещения, в результате которой пришёл к своему основному изобретению, принесшему ему мировую известность – электросварке, названной им *«Электрогефест»*. Это изобретение получило золотую медаль и стало главным экспонатом Парижской международной электротехнической выставки.

По возвращении в Санкт-Петербург Бенардос продолжил совершенствовать изобретённый им способ дуговой электросварки. В 1885 г. после тщательнейшей разработки и доведения своего способа до возможности промышленного применения Николай Николаевич обратился в Департамент торговли и мануфактур с просьбой о выдаче ему привилегии на *«Способ соединения и разъединения металлов непосредственным действием электрического тока»;* 31 декабря 1886 г. ему была выдана десятилетняя привилегия за № 11982. Метод, созданный Бенардосом, был весьма прост. В описании к привилегии сущность его излагалась так: *«Предмет изобретения составляет способ соединения и разъединения металлов действием электрического тока… основанный на непосредственном образовании вольтовой дуги между местом обработки металла, составляющим один электрод, и подводимой к этому месту рукояткою, содержащею другой электрод, и соединенной с соответственным полюсом электрического тока. С помощью этого способа могут быть выполнены следующие работы: соединение частей между собой, разъединение или разрезывание металлов на части, сверление и производство отверстий и полостей и наплавление слоями».*

Бенардос не смог сразу в 1881 г. запатентовать своего *«Электрогефеста»*. Одной из причин стало отсутствие средств. Лишь в 1884 г., когда была продана родовая усадьба за неуплату долгов ссудным банком, Бенардос смог на оставшиеся деньги подать заявку на получение патента на способ дуговой электросварки. В 1885-1887 гг. Н. Н. Бенардос получил патенты Франции, Бельгии, Великобритании, Австро-Венгрии, Швеции, Италии, Германии, США, Норвегии, Дании, Испании, Швейцарии. Так как у Бенардоса хватило денег только на патентование изобретения в России, патентование за рубежом финансировал купец С. А. Ольшевский, владелец доходных домов в Петербурге и Варшаве, ставший совладельцем патентов.

В 1885 г. в Санкт-Петербурге Николай Бенардос совместно с рядом капиталовладельцев основал Товарищество «Электрогефест», имевшее первую в мире показательную мастерскую сварочных работ. Менее чем через два года способ дуговой электросварки получил распространение по всему миру, а имя Бенардоса стало широко известным в научных и технических кругах за границей. Для ознакомления с «Электрогефестом», с целью его применения в своих странах, в Россию приезжали крупные зарубежные специалисты. Всестороннее освещение нового процесса сварки металлов в технической литературе и в специальных докладах видных учёных

и инженеров также весьма способствовало росту популярности изобретения Бенардоса. К середине 1890-х годов новый технологический процесс был внедрён более чем на 100 заводах Западной Европы и в США, электросварку начали применять не только для вспомогательных ремонтных работ, но и как основной технологический процесс производства новых металлических изделий.

В России дуговую электросварку впервые применили на Куваевской мануфактуре и заводе Пономарёва в Иваново-Вознесенске. В 1888 г. способ Николая Бенардоса был использован в Рославльских мастерских Орловско-Витебской железной дороги для ремонта паровозных и вагонных колёс, рам, решёток и так далее. В течение пяти лет способ Бенардоса распространился по всей России. Он применялся в железнодорожных мастерских Воронежа и Ростова-на-Дону, на Коломенском заводе в Голутвине, заводе Гужона в Москве, Невском машиностроительном заводе, заводе Лесснера в Петербурге и др.

К 1892 г. Н. Н. Бенардос разработал электрическую сварку как с угольным, так и с металлическим электродами. Ему принадлежит идея и разработка устройства для сварки металлическим электродом на переменном токе, разработка сварки в струе газа, сварки наклонным электродом. Он первым начал применять различные флюсы и закрытую дугу, а также был основоположником механизации и автоматизации сварочного процесса.

На проходившей в январе 1892 г. в Санкт-Петербурге IV Всероссийской электрической выставке демонстрировалось более 30 различных изобретений Бенардоса, оформленных в отдельную экспозицию, 11 мая того же года *«За удачное применение вольтовой дуги к спаиванию металлов и направлению одного металла на другой»* Н. Н. Бенардос был удостоен высшей награды Русского Технического общества – золотой медали, а в мае 1893 г. он был избран действительным членом этого общества.

В 1889 г. патентным правом на изобретения Бенардоса в области сварки завладела группа дельцов, практически лишив его возможности продолжать работу над «Электрогефестом». Однако он продолжал заниматься изобретательством в других областях. С 1887 по 1891 гг. им были получены патенты на усовершенствованную систему аккумуляторов, способ приготовления губчатого свинца, гальванации больших площадей, тигельное электропаяние.

На станции Борки Курско-Харьковского направления 17 (29) октября 1888 г. Императорской железной дороги произошло крушение императорского поезда, в котором находился Александр III со

своей семьёй. Никто из Августейшего семейства серьёзно не пострадал. В связи с этим событием Николай Бенардос предложил проект исправления Царь-колокола, перенесения его на Воробьёвы горы и строительства для него огромной Царь-колокольни, в которой на одном этаже был бы храм, а на другом музей, посвящённый чудесному спасению царской семьи. В начале 1890-х годов этот проект широко обсуждался в московской и петербургской прессе, однако он так и остался невоплощённым.

В конце 1890-х годов сильно ухудшилось состояние здоровья Николая Бенардоса. Продолжительные опыты с губчатым свинцом, необходимым для изготовления аккумуляторов, привели к тяжёлому отравлению организма изобретателя. В 1899 г. по рекомендации врачей он переехал в Фастов.

Седьмого декабря того же года Санкт-Петербургским электротехническим институтом Н. Н. Бенардосу, вместе с А. С. Поповым и А. Н. Лодыгиным, за особо выдающиеся заслуги было присвоено звание почётного инженера-электрика. Запись в журнале заседаний института гласит: *«А. С. Попов, Н. Н. Бенардос, А. Н. Лодыгин заслуживают возведения в почётное звание инженера-электрика, как выдающиеся русские изобретатели в области электротехники, первый по телеграфированию без проводов, второй по электрической сварке металлов, третий по устройству лампы накаливания».*

Несмотря на болезнь, Бенардос не прекращал работы. В 1900 г. он разработал способ изготовления стальных борон путём штамповки из листа. В начале 1902 г., находясь на излечении в Москве, Н. Н. Бенардос участвовал в работе Второго Всероссийского электротехнического съезда, который избрал его своим почётным председателем. Это было последним прижизненным признанием заслуг изобретателя, 8 (21) сентября 1905 г. Николай Николаевич Бенардос скончался в фастовской богадельне.

Не только Н. Н. Бенардос, но и Н. Г. Славянов использовали открытие В. В. Петрова по плавлению и свариванию металлов в электрической дуге.

Николай Гаврилович Славянов (рис. 61) создал конструкции электрических машин и аппаратов, динамо-машин и регуляторов электрической дуги. Использовал электрод и как средство для создания электрической дуги, и как носитель металла для создания шва при сваривании листов или деталей. Он же применил электроподогрев металлических отливок для равномерного остывания по всему объему.

Николай Гаврилович Славянов родился в Воронежской губернии, окончил в 1877 г. Петербургский горный институт со званием

горного инженера I разряда. В горном институте в то время физику читал профессор К. Д. Краевич, высшую математику – проф. Г. А. Тиме, прикладную механику – проф. И. А. Тиме, геологию – А. П. Карпинский, металлургию – И. А. Иосса и Н. А. Кулибин (внук И. П. Кулибина). Ввиду отсутствия средств на продолжение обучения, Н. Г. Славянов подал прошение о стипендии и получал ее, а также давал уроки. По окончании института Н. Г. Славянов работал на Воткинском заводе, сначала смотрителем механического и токарного цехов, а затем механиком завода. В 1883 г. был назначен на Пермские пушечные заводы на должность управителя орудийных и механических цехов, а в 1891 г. стал главным начальником заводов.

Рис. 61. Николай Гаврилович Славянов (1854-1897 гг.)
(URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/)

По своей должности Н. Г. Славянов занимался совершенствованием уровня производства и обратился к вопросам применения электричества в производственном процессе. В Горном институте в то время электротехника преподавалась лишь как раздел физики, что побудило Н. Г. Славянова заняться ее глубоким изучением. За короткий срок Н. Г. Славянов изучил ее настолько, что сам создавал конструкции электрических машин и аппаратов.

Начал он с электрического дугового освещения рабочих цехов и для этих целей создал ряд конструкций динамо-машин и регуляторов дуги. Им были построены генераторы на 800 А; 60 В и 1000 А; 100 В.

Первая привилегия (патент) была получена Н. Г. Славяновым под названием *«Электрическая отливка металлов»*. Вместо угольного электрода Н. Г. Славянов предложил применять металличе-

ский, который плавился под действием дуги и стекал на обрабатываемый предмет, являвшийся вторым электродом. Отказавшись от угольного электрода, Н. Г. Славянов избежал дополнительного углерода в сварном шве. Способ Н. Г. Славянова – это способ электропаяния и электроотливки, который применялся при ремонте изношенных деталей машин (заполнение трещин и пустот, наварка изношенных зубьев шестерен, покрытие детали новым слоем металла). Наплавка производилась в форму (ванный метод), заливаемую материалом расплавленного электрода. Н. Г. Славянов первым обратил внимание на то, что можно применять электроды специального состава, то есть в нашем понимании с легирующими добавками.

Целый ряд ученых того времени утверждал, что этот метод непригоден для сварки цветных металлов и совершенно невозможен для черных металлов. Для демонстрации возможностей метода Н. Г. Славянов сделал многослойную отливку из колокольной бронзы, томпака (сплав меди с цинком), никеля, стали, чугуна, нейзильбера и бронзы. Слиток был обработан в виде 12-гранной призмы, просверленной внутри. Высота *«стакана»* 210 мм, а масса составляла 5330 г. Предложенный метод получил широкое применение на многих заводах в России и за границей. В 1890-1891 гг. мастерские Урало-горнозаводской железной дороги затратили на восстановление методом электроотливки деталей 4292 руб., в то время как стоимость этих новых деталей составила бы 26766 руб. На IV электротехнической выставке в 1892 г. была представлена сваренная методом Славянова труба из красной меди, которая при испытании выдержала давление 500 атм. На Пермских пушечных заводах методом электросварки (вместо клепки) был построен корпус парохода «Редедя князь Касогский», переименованный затем в «Степана Разина». Сварка использовалась и в основном производстве при изготовлении пушечных лафетов.

В 1892 г. выходит книга Н. Г. Славянова *«Электрическая отливка металлов»*, получившая широкую известность в России и за границей. Отличие методов Н. Г. Славянова и Н. Н. Бенардоса в том, что Н. Н. Бенардос рассматривал электрод как средство в первую очередь для создания дуги, а Н. Г. Славянов рассматривал его как носитель металла для создания шва или части детали.

При создании на пушечных заводах орудийных стволов высокие требования предъявляются к качеству отливок, которое можно повысить, применяя термические средства при охлаждении слитков. Н.Г. Славянов применял дугу для уплотнения металлических отливок. Он применял подогрев отливки для более равномерного

остывания всего объема. Это позволяло избежать образования пустот, раковин. Таким методом получались отливки до 700 пудов при токе в дуге 800 А, напряжении до 70 В и времени обработки 3-8 ч.

Работы Н. Н. Бенардоса и Н. Г. Славянова неоднократно представлялись и награждались на выставках. В 1887 г. Н. Г. Славянов был удостоен серебряной медали на Урало-Сибирской промышленной выставке, работы Н. Г. Славянова экспонировались на Всемирной электротехнической выставке в 1893 г. в Чикаго. На метод электрической отливки металлов Н.Г. Славянов получил патент США.

В 1892 г. на IV Всероссийской электротехнической выставке было присуждено только две высшие награды – медали Русского технического общества: 1) *«Дворянину Н. Н. Бенардосу – за успешное применение вольтовой дуги к спаиванию металлов и наплавлению одного металла на другой»;* 2) *«Горному инженеру Н. Г. Славянову – за успешное применение вольтовой дуги к производству металлических отливок и к последующей их обработке с целью изменения химического состава металла и улучшения его механических свойств»*.

Н. Г. Славянов намеревался также своим методом починить Царь-Колокол, но, к сожалению, умер в возрасте 43 лет.

Один из первых русских профессоров электротехники Михаил Андреевич Шателен писал: *«Первая половина XIX в. была особенно богата результатами изучения электрического тока: была открыта электрическая дуга (В. В. Петров), были открыты термоэлектрические явления (Т. Зеебек, Ж. Пельтье); найден закон тепловых действий тока (закон Джоуля-Ленца), были определены законы химического действия тока (законы М. Фарадея), были установлены законы Г. Ома и Г. Кирхгофа, внесшие большую ясность в понимание явлений тока; были обнаружены свойства тока намагничивать железо и действовать на магниты; были найдены законы взаимодействия токов между собой и тока с магнитами; были открыты законы электромагнитной индукции»*.

В качестве генератора тока при электрической пайке с помощью вольтовой дуги использовать динамо-машину было неудобно, потому что ее нагрузка подвергалась быстрым и большим колебаниям. При соприкосновении угольного электрода с металлическими кусками ток сильно возрастал и оставался сравнительно сильным при существовании вольтовой дуги, а затем при удалении электрода и гашении дуги сразу падал до нуля. Такие внезапные и большие колебания действовали крайне отрицательно на паровой двигатель и динамо-машину. Поэтому в качестве генератора тока использовали специальную батарею аккумуляторов, при которых

необходимо было следить только за тем, чтобы короткое замыкание между углем и металлом происходило лишь на одно мгновение. Применение аккумуляторов приводило к значительному удорожанию и усложнению данного способа электрической пайки, а, кроме того, сама пайка была некачественной. В самом деле, вольтова дуга соединяла только наружные кромки соприкасающихся поверхностей, тогда как более глубокие части были скрыты от ее действия. Поэтому такой способ давал удовлетворительные результаты лишь при пайке тонких листов и применялся главным образом для изготовления металлических бочек. Дальнейшее применение этого способа, несмотря на затраченные для опытов усилия и средства, оказалось невозможным, так что мечты о полном устранении заклепочных швов в паровых котлах, на металлических судах и т.п. до определенного времени оставались только мечтами. К этому можно добавить, что вольтова дуга изменяет невыгодным образом нагретое железо, вследствие чего крепость металла на месте спайки становится меньше, чем на нетронутых частях.

Применялся и видоизмененный способ пайки, когда вольтова дуга образовывалась не между металлом и углем, а между двумя угольными остриями. Для того чтобы при этом направить дугу на спаиваемое место, пользовались явлением, происходящим с вольтовой дугой под действием сильного магнита: если приблизить к вольтовой дуге полюс магнита, то она отклоняется. Таким образом, вольтову дугу можно направлять на соединяемое место.

Более практичным следует признать способ электрической сварки американского профессора Томсона. Этот способ заключался в том, что два металлических куска, прижатых один к другому, сваривались пропусканием через место соприкосновения тока определенной силы. Оставалось нерешенным, производить ли здесь сварку металла при полном его расплавлении в месте соединения или доводить металл до полурасплавленного состояния.

Электрическая сварка отличается от механической тем, что посредством тока можно сваривать почти все: неметаллы, металлы и даже куски из различных металлов, значительно отличающихся друг от друга по точкам плавления.

Сварку можно производить как постоянным, так и переменным током, так как тепловое действие тока не зависит от его направления. Для сварки тонких предметов, требующих сравнительно слабой силы тока, применяют постоянный ток. При значительных свариваемых поверхностях, когда применяется ток величиной в тысячи ампер, создание такого сильного тока и его подведение сопро-

вождаются крупными потерями, если не сделать путь тока возможно коротким. Поэтому в таких случаях пользовались переменным током, который трансформировался из тока высокого напряжения в ток большой силы.

На рисунке 62 показана малая сварочная машина постоянного тока для легких работ, а именно для сварки железных стержней диаметром до 12 мм.

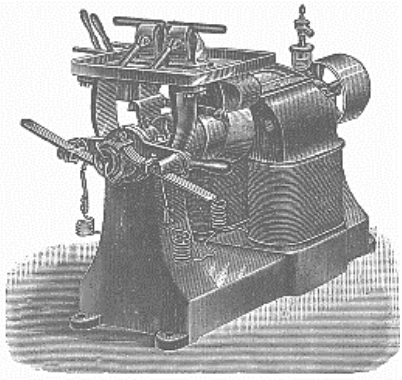


Рис. 62. Малая сварочная машина Томсона
(URL: http://energetika.in.ua/ru/)

Она состоит из динамо-машины и стола, установленного на ее раме. Динамо-машина построена для очень сильного тока. Ее напряжение было небольшим, так как в цепь введено очень малое сопротивление.

При сварке железных стержней диаметром 12 мм сила тока составляла 2000 А. Соединяемые стержни располагались точно один против другого в двух зажимах. Один из них можно было передвигать винтом и тем самым прижимать конец зажатого им стержня к концу другого. Полюсы машины соединены с этими изолированными зажимами и таким образом ее ток пропускался через место соприкасания основания стержней, которое при этом накалялось из-за большого сопротивления, и под действием давления оба стержня сваривались в несколько секунд. Сварка распространялась по всей поверхности, а не ограничивалась только отдельными точками, как при пайке вольтовой дугой. Это происходило вследствие того, что сопротивление металлического проводника увеличивалось с возрастанием температуры. Когда по тому месту, где стержни лучше соприкасались, проходила сравнительно большая часть тока, чем через другие места с высоким сопротивлением, то это место нагревалось сильнее других, его сопротивление увеличивалось в сравнении с сопротивлением в других местах, ток усиливался и нагревал

их больше. Благодаря этому развитие теплоты распределялось в течение времени сварки равномерно по всей поверхности соприкосновения.

Мощность при этой сварке, несомненно, требуется очень большая. Например, для железных стержней диаметром в 12 мм требуется 10 лошадиных сил, но всего на 10 с, которых достаточно для соединения. Если затрачивать 50 с на вставление и вынимание стержней, то окажется, что машина может произвести в час 60 сварок, т.е. гораздо больше, чем механическими способами, не говоря уже о большей прочности, обеспечиваемой электрическим способом. Места сварки, выполненной электрическим способом, получались такой же крепости, как и сам стержень. Это было возможно благодаря тому, что материал при таком способе не изменяется и нагревание очень мало распространяется вне места сварки.

Если приходилось сваривать толстые предметы, то требовался столь сильный ток, что его невыгодно было бы брать от самой динамо-машины, потому что или в самой машине терялось слишком много энергии, или ей надо было бы придать очень малое сопротивление и, следовательно, слишком большие размеры. Поэтому применяли ток высокого напряжения, который преобразовывали трансформатором непосредственно перед сварочным станком в ток большой силы. Для этой цели проф. Томсон пользовался прибором, который состоял из трансформатора и непосредственно перед ним расположенного станка (рис. 63). Последний принципиально был похож на описанный выше, но только все его части, входящие в цепь тока, были сделаны гораздо толще в соответствии с большей силой тока. Вторичная обмотка трансформатора состояла из одного витка, выполненного из медных полос.

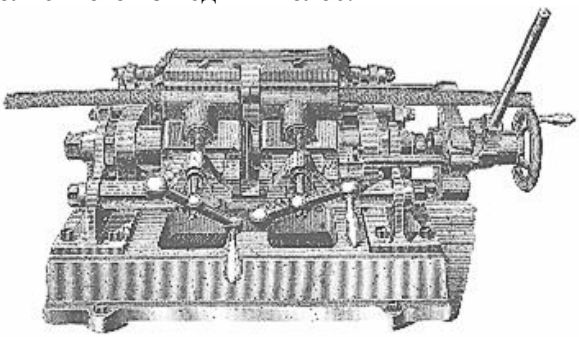


Рис. 63. Сварочный станок для толстых стержней
(URL: http://energetika.in.ua/ru/)

В самом большом из устроенных в то время станков для возбуждения трансформатора служила машина переменного тока, которая при напряжении в 200 В создавала ток в 120 А. Этот ток преобразовывался трансформатором в ток силой 24000 А при напряжении в 1 В. Таким большим током можно было сваривать за 1 минуту железные стержни диаметром в 50 мм.

Совершенно своеобразным оказался изобретенный Лагранжем и Гоо в Брюсселе способ электрического нагревания, предназначенный для замены кузнечного горна при нагревании металлических частей, которым, однако, с успехом можно пользоваться и для плавки. Удивительным оказалось при этом то обстоятельство, что подлежащий нагреванию металл опускают в воду, в которой он за несколько секунд нагревается до белого каления. Воду зачастую употребляли для охлаждения металла, а в рассматриваемом же случае имеет место как раз обратное явление – холодный металл нагревается водой. Это явление происходит под воздействием электрического тока, который играет здесь двойную роль.

Если опустить металлический, например железный, стержень, соединив его предварительно с отрицательным полюсом генератора тока, в сосуд с водой, которая соединена с помощью лежащей на дне свинцовой пластины с положительным полюсом, то в момент соприкосновения железного стержня с водой вокруг стержня образуется слой водорода. Этот тонкий покрывающий стержень слой водорода является как бы оболочкой, отделяющей его от воды. Разделяющий слой, само собой разумеется, весьма тонок, и все же он представляет для проходящего тока очень значительное сопротивление. Так как сопротивление при проходе тока в воду весьма значительно, то развивается большое количество теплоты, причем настолько интенсивно, что, несмотря на близость охлаждающей воды, погруженный конец железного стержня быстро накаляется. Для применения этого способа на практике пользовались чаном или ванной из камня или дерева длиной в 1,5 м и шириной и глубиной около 0,75 м. На дне ванны или на одной из стенок укреплялась свинцовая пластина, соединенная с помощью изолированного проводника с положительным полюсом генератора тока. В качестве генератора использовалась динамо-машина постоянного тока или аккумуляторная батарея. Применение батареи давало то преимущество, что она не так чувствительна к быстрым изменениям нагрузки, которые имели место при погружении и вынимании стержня из воды. Подлежащий нагреванию металлический брусок брали щипцами, соединенными с помощью гибкого провода с отрицательным

полюсом генератора. При этом вода в ванне предварительно нагревалась до 70°С. Изобретатели определили, что количество энергии при напряжении в 150 В и токе в 5 А на каждый квадратный сантиметр погруженной поверхности накаливаемого тела, доводимого до белого каления, достигается за 8 с, т.е. в очень короткое время.

Понятно, что ванной можно пользоваться в качестве кузнечного горна и она имеет перед последним то несомненное преимущество, что нагревание достигается гораздо быстрее.

Электрическая плавка. Вернер Сименс первым пытался применить тепловое действие тока для плавления. Для этого он пользовался вольтовой дугой, заставляя ее действовать на куски стали в примитивном приборе – тигле, в дно которого был вставлен провод из платины или угля. Тигель наполняли кусками стали, которые приходили в соприкосновение с проводом, соединяющимся с положительным полюсом динамо-машины. Другой полюс соединялся с угольным стержнем, подвешенным вертикально над кусками стали и прикасающимся к ним своим нижним концом. При пропускании через прибор тока угольный стержень поднимался на несколько миллиметров таким образом, что образовывалась вольтова дуга, которая поддерживалась регулятором в процессе расплавления кусков стали.

Для тугоплавких веществ Дюкрете и Лежен изобрели электрическую плавильную печь, известную под названием печи Муассана (рис. 64). При высокой температуре вольтовой дуги, доходящей до 4000 °С, способной легко расплавить все плавящиеся тела, даже такие тугоплавкие металлы, как платина и хром, очень скоро обращались в этой печи в жидкое состояние. Печь состояла из железного ящика, изнутри выложенного толстым слоем шамота. В верхней части помещались изолированные держатели, в которые вставлялись угольные стержни, удерживаемые в своем положении с помощью винтов. В печи устанавливался тигель из огнеупорного материала, в который помещались плавящиеся вещества. Угли устанавливались так, чтобы вольтова дуга образовывалась как раз над тиглем. Действием магнита дуга оттягивалась вниз, на плавящиеся вещества. Передняя открытая сторона печи закрывалась заслонкой из темного стекла, благодаря чему можно было наблюдать дугу и плавление. Температура в этой печи доходила до 3500°С, так что все плавящиеся тела расплавлялись, а некоторые даже улетучивались.

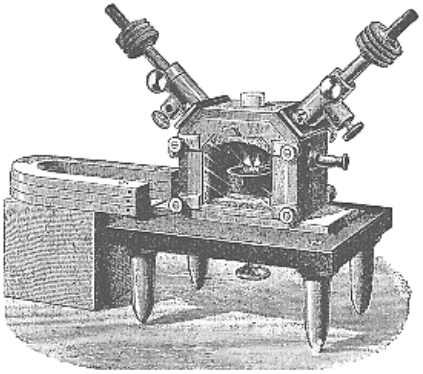
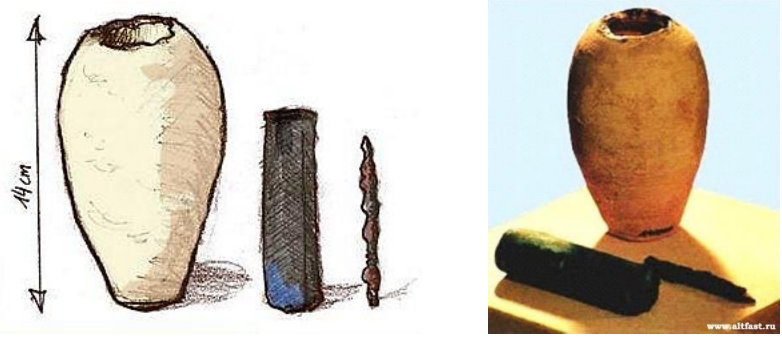


Рис. 64. Электрическая плавильная печь Муассана
(URL: http://energetika.in.ua/ru/)

Муассан производил с этой печью множество опытов. С ее помощью он даже получал искусственные алмазы. Для этого он плавил железо, к которому примешивался порошок древесного угля. Расплавленное железо поглощало углерод, выделяя избыток последнего при охлаждении в кристаллизованном виде. После нескольких опытов Муассану удалось получить прозрачные кристаллы небольшого размера, обладающие всеми свойствами алмаза. Появилась надежда, что впоследствии можно будет получать алмазы искусственным путем для промышленных целей.

3.4. Из истории развития аккумуляторов электрической энергии

В 1936 г. археологи, работавшие на раскопках в Багдаде, обнаружили странный предмет. Он представлял собой почти 15-сантиметровый глиняный сосуд, внутри которого находился медный цилиндр (рис. 65). Тот, в свою очередь, за асфальтовой прокладкой скрывал окислившийся железный брусок. Предположив, что в цилиндр можно было залить раствор, обладающий щелочными свойствами, ученые пришли к выводу, что багдадскую находку нужно считать самым настоящим гальваническим элементом.



а *б*

Рис. 65. Багдадская находка – настоящий гальванический элемент (а) и гальванический элемент из Каирского музея (б)
(URL: http://www.nashgorod.ru/; http://vestnikk.ru/)

Это подтвердила серия опытов, проведенных с реконструированным устройством такого рода. Заполняя цилиндр наиболее доступными жителям Двуречья жидкостями – винным уксусом или морской водой, экспериментаторы получили электрический ток силой 0,5-5 мА и напряжением до 0,5 В.

Австрийский археолог Вильгельм Кёниг датировал найденный глиняный сосуд, который журналисты начали называть багдадской батарейкой, III-II веками до нашей эры. Причем находка эта не была единственной. По словам профессора Дж. Перчински из университета в штате Северная Каролина (США), сделанный по аналогу античного образца прибор мог работать в качестве батарейки в течение 18 дней.

Простейшими гальваническими элементами были элементы с одной жидкостью. К такого рода элементам относится вольтов столб и его видоизменения. Но, вследствие поляризации, действие таких батарей быстро ослаблялось, кроме того, они были неудобны в эксплуатации.

По мере развития электроэнергетики, внедрения ее в промышленность, транспорт, быт возникла потребность накопления электроэнергии. В. В. Петров в начале XIX в. создает предпосылки для создания аккумуляторов, проводит эксперименты.

Изучив труды своих предшественников в области электричества, В. В. Петров пришел к логичному выводу о том, что более полное и всестороннее изучение явлений электрического тока возможно при наличии крупных гальванических батарей, действия которых будут более интенсивными и легче наблюдаемыми.

В то время как распространенные за рубежом гальванические батареи состояли из нескольких десятков или сотен пластин, Петров построил батарею, состоявшую из 4200 медных и цинковых пластин или 2100 медно-цинковых элементов, соединенных последовательно.

Эта батарея располагалась в большом деревянном ящике, разделенном по длине на четыре отделения; для изоляции пластин стенки ящика и разделяющих перегородок были покрыты сургучным лаком. Общая длина батареи составляла 12 м – это был уникальный для своего времени источник электрического тока. Как показали современные эксперименты с моделью батареи Петрова, ЭДС ее составляла около 1 700 В, а максимальная полезная мощность – 60-85 Вт.

Именно благодаря применению источника тока высокого напряжения В. В. Петрову в 1802 г. впервые удалось наблюдать явление электрической дуги. Точно так же Дэви смог наблюдать электрическую дугу только после того, как в 1808 г. он построил большую гальваническую батарею, состоявшую из 2000 элементов.

В 1802 г. доктор Уильям Круикшанк разработал первую электрическую батарею, пригодную для массового производства. Круикшанк изготовил квадратные листы меди, которые он спаял на концах вместе с листами цинка равного размера. Эти листы были помещены в длинную прямоугольную деревянную коробку, которая была запечатана цементом.

Примерно в начале 30-х годов XIX столетия англичане Кемп и Уильям Стёрджен (изобретатель электромагнита) выяснили, что цинковая пластинка, покрытая амальгамой – раствором цинка в ртути, – действует не хуже чистого цинка, но при этом не растворяется в кислоте, когда элемент не работает, то есть когда он не дает тока. Это стало существенным достижением.

Антуан Сезар Беккерель высказал мысль, что хорошо бы попробовать опускать пластинки в разные сосуды так, чтобы выделяющийся водород тут же химически соединялся с кислородом, образуя воду. После открытия в 1829 г. А. С. Беккерелем явления поляризации им же была создана более совершенная конструкция элемента с двумя жидкостями. По мере совершенствования эти гальванические элементы получили широкое распространение.

Расположение пластин поддерживалось углублениями в коробке, а сама коробка заполнялась электролитом (морской водой) или кислотой.

В 1836 г. Джон Ф. Даниэль, английский химик, изобрёл улучшенную батарею, которая производила более стабильный ток, чем

устройство Вольты. В стеклянную банку с медным купоросом он поместил согнутый в цилиндр металлический лист. Внутрь вставил глиняный сосуд с пористыми стенками, заполненный разбавленной серной кислотой. В кислоту был помещен цинк. Водород проходил через поры глиняного сосуда, вытесняя медь из купороса. Несколько синих кристалликов, брошенных на дно банки, пополняли убыль меди. Казалось бы поляризация была побеждена! Однако у элемента Даниэля нашлись другие недостатки. Так, он имел пониженную электродвижущую силу, да и к тому же часть электрической энергии тратилась внутри самого элемента на разложение медного купороса.

Все батареи были составлены из первичных ячеек и это означало, что они не могли перезаряжаться.

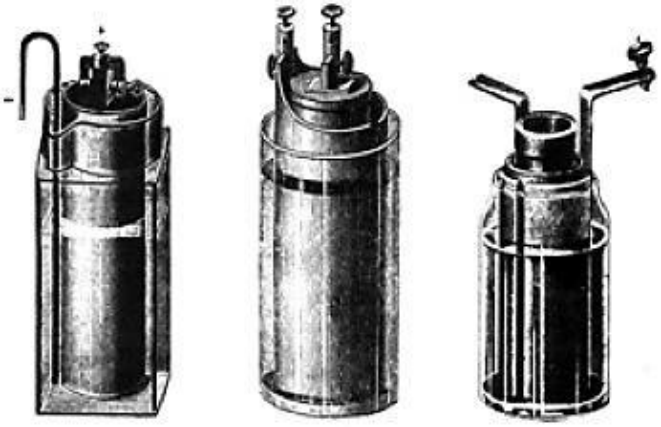


Рис. 66. Гальванические элементы Лекланше и Даниэля
(URL: http://www.powerinfo.ru/galvanic-cell.php)

Соотечественник Даниэля Уильям Грове решил заменить медный купорос азотной кислотой. А чтобы она не разъедала медный электрод, заменил медь платиной. Все получилось в соответствии с ожиданиями: электродвижущая сила возросла. К сожалению, возросла и стоимость такого источника тока: платина – металл дорогой. Правда, Грове и его последователи делали электроды из тончайших листков, согнутых для прочности буквой S. Несмотря на высокую стоимость, элементы Грове нашли довольно широкое распространение в лабораториях многих стран.

Сегодня может показаться странным, что никто не додумался заменить платину углем. Принципиальная возможность такой замены была уже известна. Но тут мы не учитываем уровня техноло-

гии начала XIX столетия. Тогда никто не умел делать плотных углей. А обычный древесный уголь слишком пористый. Прошло несколько лет, прежде чем немецкий химик Роберт Бунзен описал способ изготовления угольных стержней из прессованного молотого графита, который выделялся при сгорании светильного газа на раскаленных стенках реторт. Стержни стали прекрасным заменителем платины.

Элемент Бунзена приняли «на ура» не только лаборатории физики, но и первые электротехнические предприятия (в частности, по гальванопластике). И это несмотря на то, что при работе элемент Бунзена выделял немало удушливых паров азотной кислоты. Иоганн Поггендорф заменил азотную кислоту хромовой, не выделявшей вредных испарений. Но ее производство было довольно дорогим делом.

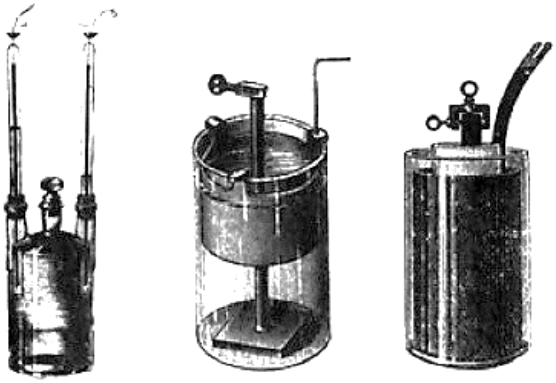


Рис. 67. Гальванические элементы Грове, Калло и Бунзена
(URL: http://www.powerinfo.ru/galvanic-cell.php)

Изобретатели во всем мире напряженно и интенсивно работали. На страницах научных журналов одно за другим появлялись описания все новых и новых элементов. Ими занимались специалисты, ими занимались любители, ими занимались все. В качестве курьеза можно упомянуть, что последний французский император Наполеон III, прежде чем навсегда подарить свою корону Республике, тоже *«осчастливил»* мир конструкциями двух источников электрического тока.

Впрочем, во второй половине XIX столетия химические источники тока стали изготавливать в специальных мастерских. Главный их потребитель – телеграф – требовал простоты устройства, дешевизны, устойчивости и надежности в работе. За все это телеграфисты соглашались на самые *«слабые»* токи.

Можно рассказать еще о многих более или менее удачных попытках изобретательства. Наибольший успех выпал на долю парижского химика Жоржа Лекланше. Он наполнил глиняную банку смесью перекиси марганца с кусочками угля из газовых реторт и поместил туда же прямоугольную угольную призму, которая должна была служить положительным электродом. Эта система заливалась сверху варом или смолой и вставлялась в стеклянную четырехугольную банку, заполненную раствором нашатыря, с цинковым электродом. При этом хлор из нашатыря (хлористого аммония), соединяясь с цинком, давал хлористый цинк. Аммоний распадался на растворяющийся аммиак и водород. Вот тут-то и была ахиллесова пята этого превосходного элемента. Перекись марганца окисляла водород медленно и небольшими порциями. А выделение этого газа зависело от силы тока, который отбирается от элемента. Больше ток – больше выделяется и водорода. Водород же поляризует элемент, и последний быстро «устает». Правда, после некоторого *«отдыха»* он исправно работает снова. Однако лучше всего им было пользоваться при *«малых токах»* в телеграфии или в системе сигнализации, где между моментами работы существуют значительные перерывы.

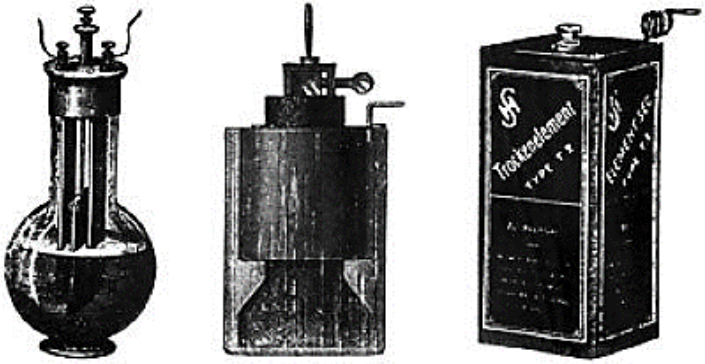


Рис. 68. Гальванические элементы Грене и Флейшера и сухой элемент фирмы «Симменс и Гальске»
(URL: http://www.powerinfo.ru/galvanic-cell.php)

Большое неудобство при использовании элементов Лекланше создавали стеклянные банки с жидкостью. Особенно сетовали на этот недостаток компании пассажирских перевозок. Океанские корабли снабжались сложной и разветвленной системой сигнализации, стараясь не уступать в этом отношении большим отелям, но при этом надо было помнить, что корабли подвергались качке. Сна-

чала, чтобы не расплескать жидкость из элементов, банки с электролитом наполняли опилками, заливая сверху тем же варом. Но под такой *«крышкой»* образовывались газы, и элементы стали взрываться. Не скоро научились люди изготавливать «сухие элементы», ставшие в наше время такими обычными. Да, бесчисленные батарейки, работающие сегодня в самых разных электрических и электронных устройствах, не что иное, как многократно усовершенствованный и упрощенный *«элемент Лекланше»*. Впрочем, наряду с ним работают и другие системы – миниатюрные и не очень, они обслуживают цепи, в которых используются *«слабые токи»*.

Великим достижением XIX в., связанным с исследованием работы тех же элементов, явилось открытие возможности последовательного и параллельного их соединения, когда в первом случае удавалось получить от них суммарное напряжение, а во втором – суммарный ток.

В то время когда Алессандро Вольта построил свою первую батарею, для большинства это было чудо, которое привлекло большое количество любителей физики к электрическим экспериментам. Год или два спустя после открытия Вольта, учитель музыки в Париже, некто Готеро, проводящий эксперимент по разложению воды на кислород и водород с помощью вольтова столба, обнаружил, что две золотые проволочки нехитрого прибора, соединенные вместе по окончании опыта и приложенные к языку, дают такое же ощущение, как и батарея Вольты, только значительно слабее. Объяснить это незначительное явление никто не мог, да оно было и не очень-то впечатляющим. Но через несколько лет спустя к его опыту вернулся немецкий фармацевт Иоганн Вильгельм Риттер, ставший позже за смелость мысли и широту взглядов членом Мюнхенской академии. Он построил столбик из сорока только медных кружков, проложенных суконками, которые были смочены подкисленной водой. Соединил полюса столбика с вольтовой батареей и через некоторое время убедился, что его конструкция зарядилась электричеством. Теперь вторичные, или заряжаемые, столбы привлекли к себе внимание многих. Тем более что имеющиеся гальванические элементы очень быстро утрачивали свою силу из-за поляризации. В 1839 году Грове изобрел газовый «вторичный элемент», который давал ток лишь после зарядки его от какого-нибудь постороннего источника. Однако из-за неудобства пользования *«газовый элемент»* Грове распространения не получил.

Примерно в 1859-1860 гг. в лаборатории Александра Беккереля – второго представителя славной династии французских физиков – работал в качестве ассистента Гастон Планте. Молодой

человек решил заняться совершенствованием вторичных элементов, чтобы сделать их надежными источниками тока для телеграфии.

Сначала он заменил платиновые электроды *«газового элемента»* Грове свинцовыми. А после многочисленных опытов и поисков вообще перешел к двум тонким свинцовым пластинкам. Он их проложил суконкой и навил этот *«сэндвич»* на деревянную палочку, чтобы он влезал в круглую стеклянную банку с электролитом. Затем подключил обе пластины к батарее. Через некоторое время «вторичный элемент» зарядился и сам оказался способен давать достаточно ощутимый постоянной ток. При этом, если его сразу не разряжали, способность сохранять электродвижущую силу оставалась в нем на довольно длительное время. Это было настоящее рождение накопителя электрической энергии, или аккумулятора.

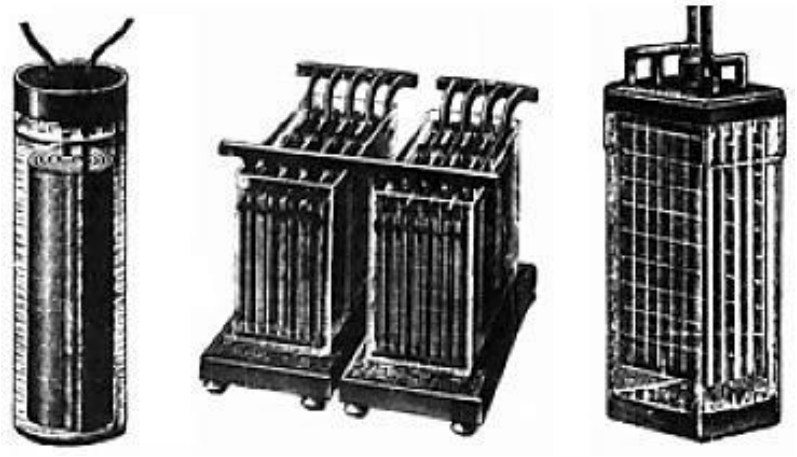


Рис. 69. Аккумуляторы XIX века
(URL: http://www.powerinfo.ru/galvanic-cell.php)

Слово «аккумулятор» происходит от латинского *accumulator*, что означает «собиратель». В технике так называют устройства, позволяющие накапливать энергию с целью ее дальнейшего использования. При этом аккумулятор может быть не только электрическим. Самым простым видом можно считать сжатую или растянутую пружину, в которой запасается механическая энергия, или тяжелый маховик, раскрученный до большого числа оборотов и запасающий таким образом кинетическую энергию. На гидроаккумулирующих станциях избыток электроэнергии используется для

подъема воды из нижнего резервуара в верхний. Есть пневматические аккумуляторы, тепловые и, наконец, электрические.

Первые электрические аккумуляторы Гастона Планте имели очень незначительную емкость, то есть запасали совсем немного электричества. Но соединив несколько банок последовательно, напряжение батареи можно было увеличить, а при параллельном их включении увеличивалась емкость. При этом ток прибора оказывался тем сильнее, чем большая поверхность пластин соприкасалась с раствором электролита.

Затем изобретатель заметил, что если заряженный первоначально прибор разрядить, затем пропустить через него ток в обратном направлении, да еще проделать эту операцию не один раз, то возрастает слой окисла на электродах и емкость вторичного элемента увеличится. Этот процесс получил название формовки пластин и занял у изобретателя Камилла Фора около трех месяцев.

Камилл Фор с юных лет увлекался техникой. Но он был беден и не получил образования. Вынужденный зарабатывать на жизнь, Камилл сменил множество специальностей. Был рабочим, чертежником, техником, химиком на английском пороховом заводе, работал и у Планте. Разносторонние практические знания сослужили самоучке добрую службу.

После Парижской выставки 1878 г. Фору пришла идея нового способа формовки пластин. Он попробовал заранее покрывать их оксидом свинца, свинцовым суриком. При зарядке сурик на одной из пластин превращался в перекись, а на другой соответственно раскислялся. При этом слой окисла приобретал очень пористое строение, а значит, площадь его поверхности значительно увеличивалась. Процесс формовки протекал значительно быстрее. Аккумуляторы Фора при том же весе запасали значительно больше электрической энергии, чем аккумуляторы Планте. Другими словами, их энергоемкость была больше. Это обстоятельство особенно привлекало к ним симпатии электротехников. Но главная причина их возросшей популярности заключалась в другом.

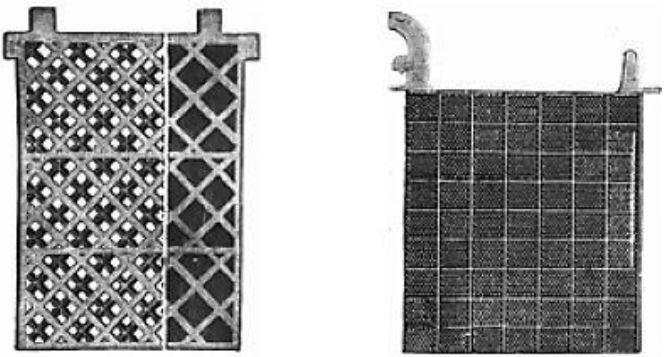


Рис. 70. Свинцовые пластины аккумуляторов разных конструкций
(URL: http://www.powerinfo.ru/galvanic-cell.php)

В конце столетия во многих странах на улицах и в домах появилось электрическое освещение. Лампы накаливания питались энергией пока еще маломощных машин постоянного тока. Ранним утром и поздним вечером, когда энергии требовалось больше, на помощь машинам приходили аккумуляторы. Это было значительно дешевле, чем устанавливать дополнительные генераторы. Тем более что в спокойные дневные и ночные часы аккумуляторы могли заряжаться, поглощая излишки вырабатываемой машинами энергии.

Дальнейшее совершенствование свинцово-кислотных аккумуляторов шло по пути улучшения их конструкции и изменения технологии изготовления пластин.

Несмотря на широкое распространение, свинцовый аккумулятор – довольно капризное детище электротехники. Он требует очень чистого электролита. Аккуратные мотоциклисты и автолюбители это хорошо знают и доливают *«банки»* с электролитом только дистиллированной водой. Аккумулятор не терпит перегрузок. Если ток разряда чересчур сильный, пластины разрушаются. Не любит свинцовый аккумулятор перегрева, переохлаждения, глубокого разряда и частых перезарядов. Корпуса свинцово-кислотных аккумуляторов, изготовленные из стекла или пластмассы, хрупки. А кислотный электролит на зарядных станциях создает совершенно неприемлемую экологическую обстановку.

В 80-х годах XX столетия был предложен проект создания гигантского свинцово-кислотного аккумулятора весом более двух тысяч тонн. Предполагалось, что он займет площадь около пятой части гектара и будет предназначен для подключения к электросети в часы пиковой нагрузки. Проектная мощность – порядка сорока пяти

мегаватт. Заряжать его можно в ночное время, когда потребление энергии падает.

Применение такого супераккумулятора позволило бы выровнять работу тепловых электростанций, особенно страдающих от неравномерности нагрузки, и дало бы экономию нефтяного топлива. Однако проект реализован не был.

Недостатки кислотных аккумуляторов еще на заре их развития заставляли изобретателей искать замену свинцу. Попыток было много. Большинство безуспешных.

В 1899 г. Вальдмар Юнгнер из Швеции изобрел никель-кадмиевый аккумулятор, который использовал никель в качестве положительного электрода и кадмий в качестве отрицательного. Двумя годами позже Эдисон изобрёл альтернативную конструкцию, заменив кадмий железом. После множества опытов американский изобретатель построил железоникелевый щелочной аккумулятор, который широко используется в наши дни. В нем отрицательный электрод выполнен из пористого железа или кадмия с большой рабочей поверхностью. Положительный электрод – никелевый, окруженный окисью трехвалентного никеля. В качестве электролита используется 20%-й раствор едкого калия или едкого натра. Корпус чаще всего изготавливается из стали.

Из-за высокой, по сравнению с сухими или свинцово-кислотными аккумуляторами, стоимости, практическое применение никель-кадмиевых и никель-железных аккумуляторов было ограниченным.

После изобретения в 1932 г. Шлехтом и Акерманом спрессованного анода было внедрено много усовершенствований, что привело к более высокому току нагрузки и повышенной долговечности. Герметичный никель-кадмиевый аккумулятор, хорошо нам всем известный сегодня, стал доступен только после изобретения Ньюманом полностью герметичного элемента в 1947 г.

В 1984 г. были созданы серно-натриевые аккумуляторы, намного превышающие по технико-экономическим показателям свинцово-кислотные.

Приведем некоторые числовые данные для материалов, способных аккумулировать электрическую энергию, из расчета на 1 кг веса: свинцовые (*Pb*) – 16 Вт·ч на 1 кг веса; воздушно-цинковые (*Zn*) – 160 Вт·ч на 1 кг веса; литий-никелевые (*Li-Ni*) – 200 Вт·ч на 1 кг веса; серно-натриевые (*S-Na*) – 300 Вт·ч на 1 кг веса; литий-хлорные (*Li-Cl*) – 500 Вт·ч на 1 кг веса; бензиновый двигатель – 2400 Вт·ч на 1 кг веса.

Аккумулирование электрической энергии необходимо для работы автономного транспорта – электромобилей, электровертолетов, подводных лодок; для накопления энергии в периоды её низкого потребления и выдачи её во время пиковых нагрузок и в других случаях. Чтобы научить силу электрического тока творить чудеса, нужны были генераторы и электродвигатели. Над этим думали многие изобретатели, в том числе и русские.

И сейчас во всех промышленно развитых странах внимание многих научно-исследовательских коллективов направлено на создание новых типов аккумуляторов и супераккумуляторов. Основная задача – повысить энергоемкость: повысить количество запасаемой энергии на единицу веса аккумулятора.

3.5. Из истории развития электрических машин

К концу первой половины XIX в. были доказаны взаимосвязь между различными явлениями природы и взаимопревращение различных форм движения материи: установлена связь тепловой и механической, электрической и тепловой, электрической и химической, электрической и магнитной форм энергии.

Начало практическому использованию электричества, как говорилось ранее, положили те области применения, которые не требовали значительных затрат электроэнергии, – телеграфия, телефония, военное дело (воспламенение пороховых зарядов, электрическое взрывание мин), дистанционное управление и др. В процессе создания различных устройств при этом использовании электричества важно было решить ряд практических и теоретических проблем: совершенствовать источники тока, создавать разнообразные приборы и приспособления, в том числе автоматические, изготовлять изолированные проводники, исследовать свойства различных материалов, разрабатывать методы измерений, устанавливать единицы измерения величин. Все это привело к разработке схем и методов, получивших применение в современной телемеханике и телеуправлении.

Практически расширение области применения электричества тормозило отсутствие хорошего, экономичного источника электрического тока. Примерно до 1870 г. наиболее распространенными источниками электрического тока были электрохимические (гальванические) элементы и аккумуляторы. Проблема экономичного источника электрической энергии была решена только созданием совершенной конструкции электромашинного генератора, в развитии

которого можно отметить три основных этапа. **Первый этап** (1831-1851 гг.) характеризуется созданием магнитоэлектрических машин.

Как отмечалось ранее, опыты Эрстеда по отклонению магнитной стрелки током стали той искрой прометеева огня, которую исследователи и изобретатели превратили в громадное пламя.

Открытие Фарадеем в 1831 г. явления электромагнитной индукции указало новый способ получения электрического тока. Уже вскоре после этого открытия ученые и изобретатели стали стремиться к тому, чтобы применить данное явление к получению электричества при помощи энергии движения.

Магнитоэлектрическая машина основана на том, что электрический ток может быть вызван без всякой батареи одним передвижением магнита относительно замкнутых проводников.

Первый изобретатель электрического генератора, основанного на явлении электромагнитной индукции, пожелал остаться неизвестным. Произошло это так. Вскоре после опубликования доклада Фарадея в Королевском обществе, в котором было изложено открытие явления электромагнитной индукции, ученый нашел в своем почтовом ящике письмо, подписанное латинскими буквами Р. М., и приложенный к нему чертёж (рис. 71). Оно содержало описание первого в мире синхронного генератора с возбуждением от постоянных магнитов. Внимательно разобравшись в этом проекте, Фарадей направил письмо и чертёж в тот же журнал, в котором был напечатан его доклад. Он надеялся, что неизвестный автор, следя за журналом, увидит опубликованным свой проект и сопровождавшее его письмо Фарадея, исключительно высоко оценивающее это изобретение. Действительно, спустя почти полгода Р. М. прислал в редакцию журнала дополнительные разъяснения и описание предложенной им конструкции электрогенератора, но и на этот раз пожелал остаться неизвестным. Имя истинного создателя первого электромагнитного генератора так и осталось скрытым под инициалами Р. М. Человечество до сих пор, несмотря на тщательные розыски историков электротехники, не знает, кому же оно обязано одним из важнейших изобретений.

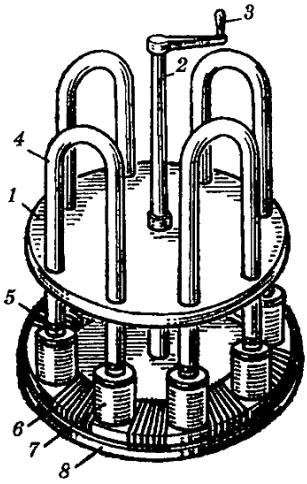
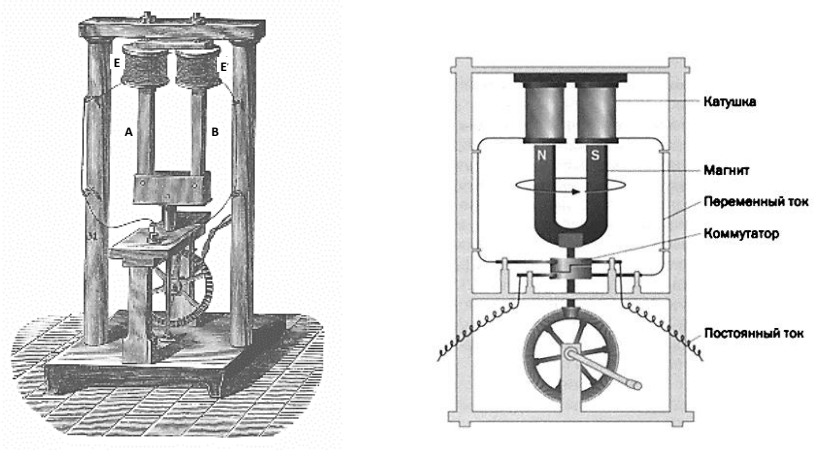


Рис. 71. Устройство генератора Р. М.:
1 – деревянный диск; 2 – ось; 3 – рукоятка;
4 – подвижные постоянные магниты; 5 – железные сердечники; 7 – катушки;
6 – стальное кольцо с добавочными обмотками; 8 – подставка
(URL: https://refdb.ru/)

Машина Р. М. была первым генератором переменного тока и не имела устройства для выпрямления тока. С помощью этого генератора удалось разложить воду (поскольку ток был переменным, то при электролизе получилась смесь водорода и кислорода – гремучий газ). Необходимо было создать машину, в которой можно было бы получать ток, постоянный по величине и направлению.

Почти одновременно с неизвестным автором конструированием генераторов занимались в Париже братья Пиксии и профессор физики Лондонского университета, член Королевского общества В. Риччи. Созданные ими машины имели специальное устройство для выпрямления переменного тока в постоянный – так называемый коллектор. Первая магнитоэлектрическая машина братьев Пиксии (рис. 72, *а*) была построена в 1832 г.



а *б*

Рис. 72. Первая магнитоэлектрическая машина братьев Пиксии (а) и чертёж, поясняющий принцип ее работы (б)
(URL: http://energetika.in.ua/ru/; https://refdb.ru/)

Эта машина явилась предшественницей всех динамо-машин в широком смысле слова, то есть всех машин, служащих для превращения энергии движения в электрическую энергию. Ее следует считать родоначальницей целого поколения разнообразных машин, предназначенных для получения электрического тока. Мимо неподвижных катушек *E* и *E* ', снабженных сердечниками, движутся посредством кривошипа и зубчатой передачи лежащие против них полюсы подковообразного магнита *A*, *B*, вследствие чего в катушках вызываются токи переменного направления. В генераторе братьев Пиксии нужно было вращать тяжелые постоянные магниты, что затрудняло пользование им. Со временем поняли, что целесообразнее сделать неподвижными постоянные магниты, а вращать более легкие катушки между полюсами магнитов. Магнитоэлектрические генераторы такого типа оказались значительно удобнее и именно в такой конструктивной форме впервые вошли в практику.

Стремясь повысить мощность электрических машин, изобретатели увеличивали число магнитов и катушек. Сильный толчок к построению более мощных магнитоэлектрических генераторов дали дуговые лампы с регуляторами, получившие применение на маяках в связи с развитием морского транспорта. В 1854 г. в Париже была открыта первая фабрика «Compagnie L'Alliance» по изготовлению крупных магнитоэлектрических машин (рис. 73). В генераторе «Альянс» на чугунной станине были укреплены в несколько рядов

подковообразные постоянные магниты, расположенные по окружности и радиально по отношению к валу. Различные варианты таких генераторов имели разное число рядов магнитов (3, 5, 7). В промежутках между рядами магнитов устанавливались на валу кольца с большим числом катушек-якорей. На валу был укреплен коллектор с изолированными друг от друга и от вала машины металлическими пластинами. Коллекторными щетками служили специальные ролики. В машине было предусмотрено устройство для смещения роликов в зависимости от нагрузки.

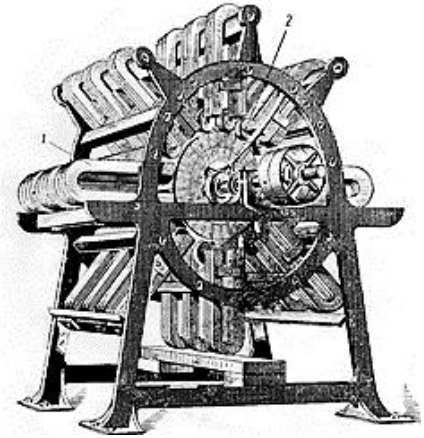
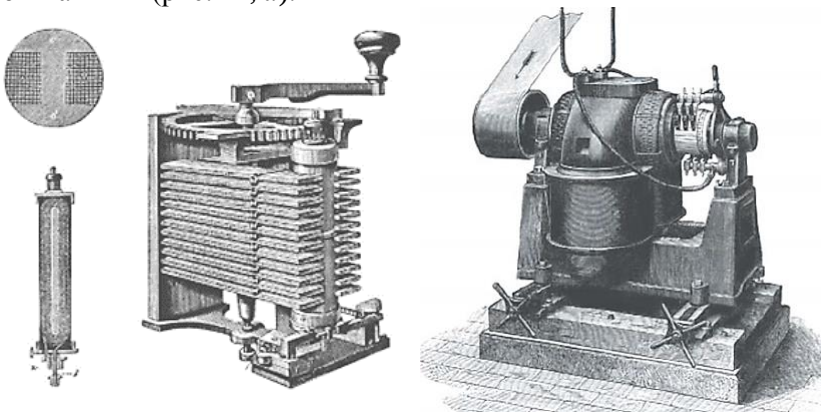


Рис. 73. Общий вид генератора «Альянс»:
1 – один из 24 подковообразных магнитов; 2 – одна из 36 вращающихся катушек
(URL: https://refdb.ru/)

В генераторе «Альянс» можно было изменять соединение обмоток катушек, в результате чего менялась ЭДС в цепи. Поэтому генератор мог давать или большой ток низкого напряжения и служить, например, для целей гальванопластики и электролиза, или ток меньшей силы, но более высокого напряжения (40-250 В) для питания дуговых ламп.

Исследования в области электромагнетизма показали, что при помощи электромагнита можно получить значительно большую величину индукции в магнитной цепи по сравнению с постоянными магнитами и, следовательно, увеличить ЭДС и мощность генераторов. О возможности замены постоянных магнитов электромагнитами, возбуждаемыми током от магнитоэлектрической машины, высказался в 1851 г. В. Зинстеден. Так начался **второй этап** развития электрогенераторов, занявший сравнительно небольшой отрезок времени.

В 1856 г. важнейшее усовершенствование в конструкцию магнитоэлектрической машины, а именно в конструкцию движущихся магнитных катушек и их железных сердечников, внес Вернер Сименс. Такие катушки с железом внутри называются якорем. Сименс придал якорю более удобную форму в виде *«двойного Т»*. Якорь вращается между полюсами плотно обхватывающих его магнитов, причем количество магнитов может быть легко увеличено при соответствующем увеличении длины якоря. Якорь Сименса позволил в дальнейшем усовершенствовать конструкцию магнитоэлектрической машины (рис. 74, *а*).



а *б*

Рис. 74. Магнитоэлектрическая машина Сименса (а) и его первая динамо-машина постоянного тока (б)
(URL: http://energetika.in.ua/ru/; https://refdb.ru/)

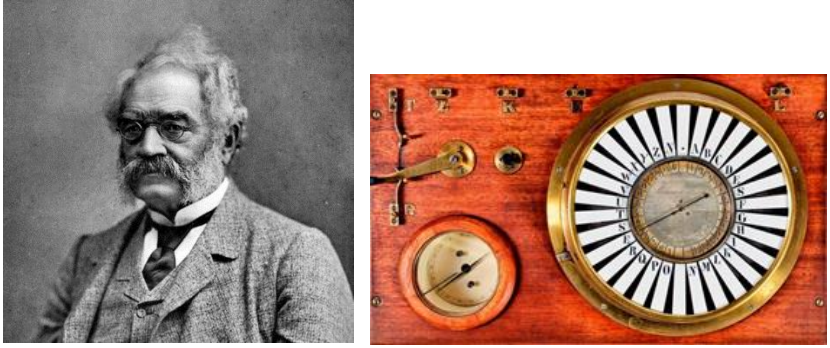
В конце 1856 г. Сименс обратил внимание на то, что железо сердечника электромагнита сохраняет следы магнетизма и после выключения тока. Этот остаточный магнетизм оказался достаточным для начала процесса самовозбуждения. Отпала необходимость в отдельном генераторе для питания обмотки электромагнита. Таким образом, Вернер Сименс установил принцип создания и построил первую динамоэлектрическую машину постоянного тока (рис. 74, *б*) для взрывания мин, которую и продемонстрировал в конце 1866 года перед несколькими выдающимися физиками.

Сименс 17 января 1867 г. выступил в Берлинской академии наук с докладом *«О превращении рабочей силы в электрический ток без применения постоянных магнитов»*. Этот доклад заканчивался словами: *«…современной технике даны средства дешевым и удобным способом вызывать электрические токи неограниченной*

силы повсюду, где имеется рабочая сила. Этот факт будет иметь большое значение во многих ее отраслях».

Вернер Сименс – немецкий электротехник и предприниматель, член Берлинской академии наук, основатель и главный владелец электротехнических концернов «Сименс и Гальске», «Сименс и Шуккерт» и др. (рис. 75, *а*). В 1834 г. Сименс с отличием окончил Любекскую гимназию и, успешно выдержав экзамены, поступил в Артиллерийское инженерное училище в Мальденбурге. Счастливым чувствовал себя молодой В. Сименс, когда его командировали на три года в Берлин для получения технического образования в Объединенной инженерно-артиллерийской школе. Это полностью отвечало его склонностям к учебе. Здесь под руководством опытных учителей, преподававших также в Берлинском университете, он начал изучать математику, физику, химию и, конечно, баллистику – основу артиллерии. Это дало ему возможность удовлетворить жажду знаний и проявить изобретательский талант, получив фундаментальное образование в военном учебном заведении. В 1841 г. Вернер Сименс получил патент на способ гальванического серебрения и золочения. Это было первое изобретение Сименса в области электротехники. Он занимался изобретательством и научными опытами по применению взрывчатой хлопчатой бумаги. Уже в 1845 г. Вернер становится одним из наиболее заметных молодых ученых в недавно образованном Физическом обществе. В это время он делает ряд изобретений по телеграфной части, а также изобретает стрелочный телеграф (рис. 75, *б*), поскольку оптический телеграф в то время воспринимался как не соответствующий уровню технического развития.

В 1846 г. Сименс вошел в состав комиссии Политехнического общества Берлина по введению электрических телеграфов в Пруссии. В это время он изобрел специальную машину для покрытия медной проволоки гуттаперчей; машина эта вошла во всеобщее употребление при производстве изолированных проводников для подземных и подводных телеграфных кабелей.



а *б*

Рис. 75. Вернер Сименс (1816-1892 гг.) (а) и его стрелочный телеграф (б)
(URL: https://www.siemens.com/)

В Берлинской академии наук 17 января 1867 г. Вернер Сименс изложил теорию, являющуюся исходным моментом всей современной электротехники, и представил совершенную конструкцию генератора постоянного тока с самовозбуждением. Он же предложил ртутную единицу сопротивления, впоследствии преобразованную в Ом, а единице электрической проводимости было присвоено наименование Сименс. Сименс много сделал для развития немецкой и европейской электротехники. Он был инициатором образования Берлинского электротехнического союза (1879 г.), основателем и председателем Общества патентов в Берлине, меценатом в области науки и культуры. На своих предприятиях он проводил обдуманную социальную политику. Удивительные слова принадлежат ему: *«Мои капиталы будут жечь мне руки подобно раскаленному железу, если я не поделюсь с теми, кто помог мне получить этот доход, причитающейся им долей»*. Сименс был новатором во всем, чего касался его гений. В конце жизни Сименс написал: *«Я считаю свою жизнь удавшейся, так как она была заполнена усилиями, которые почти всегда были успешными, и работой, приносящей пользу людям»*.

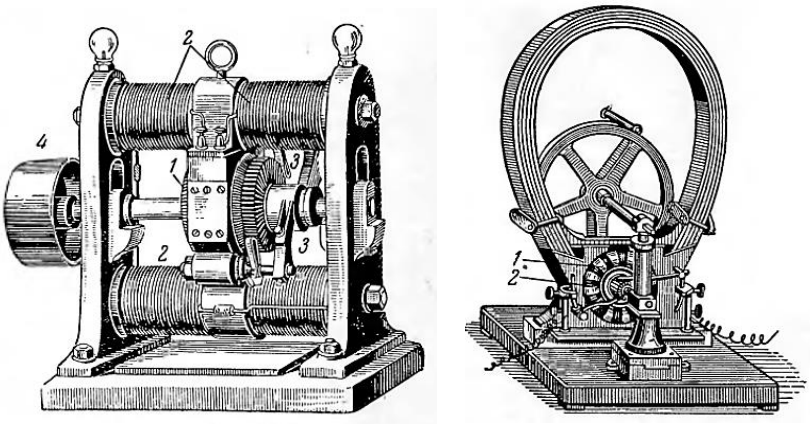
Большим шагом вперед в развитии электрических генераторов было открытие принципа самовозбуждения, который получил широкую известность после 1867 г.. В это время почти одновременно в разных странах были построены генераторы с самовозбуждением, начался **третий этап** в развитии электрического генератора.

Бельгиец Теофил Грамм в 1869 г. создал генератор, получивший широкое применение в промышленности. В своей динамо-ма-

шине Грамм использовал принцип самовозбуждения, а также усовершенствовал якорь Сименса, придав ему форму кольца. Он обвил железное кольцо непрерывной проволокой, концы которой соединил вместе, и таким образом получил спираль. Обороты спирали в каждой половине кольца соединены последовательно, но обе половины обмотки кольца соединены противоположно друг другу. Токи с обеих сторон направляются к верхней точке кольца, образуя положительный полюс. Подобным же образом в нижней точке, откуда берут свое направление токи, будет находиться отрицательный полюс. Кольцевая машина Грамма (рис. 76) явилась первой практической динамо-машиной с барабанным якорем. Такая весьма сложная конструкция якоря с незначительными усовершенствованиями используется и в настоящее время. Барабанный якорь позволяет достичь кругового пути прохождения максимального количества линий сил, возбуждающих ток в обмотке электромагнитов. Грамм дал несколько конструкций своей машины. В одной из первых его машин кольцевой якорь *1* был укреплен на горизонтальном валу. Он вращался между охватывавшими его полюсными наконечниками *3* двух электромагнитов *2*. Якорь приводился во вращение через приводной шкив. Обмотка электромагнита была включена последовательно с обмоткой. Генератор Грамма давал постоянный ток, который отводился с помощью металлических щеток, скользивших по поверхности коллектора.

Машина Грамма в сравнении с магнитоэлектрической машиной такого же веса развивала в шесть раз большую мощность. Этот генератор быстро вытеснил генераторы других типов и получил очень широкое распространение. В начале 70-х годов XIX в. был уже хорошо известен принцип обратимости и машина Грамма использовалась как в режиме генератора, так и в режиме двигателя.

В течение 70-80-х гг. XIX в. машина постоянного тока приобрела все основные свои современные черты. Дальнейшие усовершенствования не затрагивали основных принципов работы и конструктивных узлов, а были направлены на повышение качества, использование активных материалов и усовершенствование изоляции, повышение качества щеток и пр.



а *б*

Рис. 76. Самовозбуждающийся генератор Грамма с кольцевым якорем (а) и магнитоэлектрический генератор Грамма с ручным приводом (б)
(URL: https://refdb.ru/)

Очень важное усовершенствование заключалось в значительном снижении скорости вращения якоря. Высокая скорость вращения была необходима для получения достаточной электродвижущей силы. Но такой же результат может быть получен и путем увеличения диаметра кольца. При этом электромагнит был помещен внутрь кольца. Такая многополюсная динамо-машина была установлена на центральной электрической станции и питала до 2000 осветительных электроламп накаливания постоянного тока.

В процессе эволюции конструкции динамо-машины было подмечено, что для некоторых целей, а главным образом для питания дуговых осветительных ламп, можно использовать невыпрямленный ток переменного направления. При этом конструкция машины значительно упрощается, так как коллектор становится лишним и заменяется двумя кольцами.

Первой побудительной причиной развития динамо-машин переменного тока (так называемых «альтернаторов») послужило изобретение Яблочковым его «электрической свечи».

На рисунке 77 представлен альтернатор Ганца, конструкция которого состоит из насаженного на вал лучеобразного индуктора *E*, против каждого из десяти лучей (полюсов) которого расположено 10 катушек якоря, закрепленных на внутренней поверхности кольцеобразной железной рамы. При вращении индуктора в обмотках

катушек возникают токи, постоянно меняющие направления. Обмотки самих катушек соединены так, что при любом положении индуктора в них одновременно возникают токи одного направления.

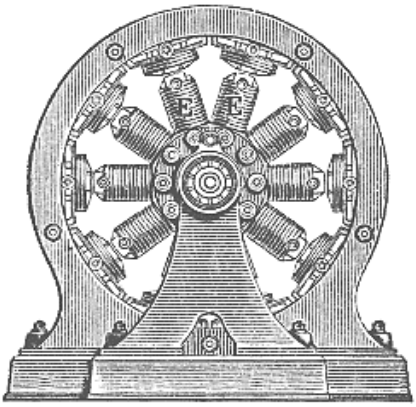


Рис. 77. Альтернатор Ганца
(URL: http://energetika.in.ua/ru/)

Вскоре берлинская фирма Сименса предложила свою конструкцию динамо-машины переменного тока (рис. 78), конструкция которой интересна тем, что в индукторах не имеется железных сердечников, а для возбуждения используется дополнительная маленькая машина постоянного тока. Такая динамо-машина позволяла получать переменный ток значительно более высоких напряжений для питания нескольких независимых электрических цепей со многими последовательно включенными дуговыми лампами.

Второй побудительной причиной широкого распространения динамо-машин переменного тока явилась легкость трансформации переменного тока. Эта замечательная способность преобразования (трансформации) переменного тока была впервые использована Голардом в 1883 г. и усовершенствована Ганцем.

Первые динамо-машины были предназначены в основном для питания различных осветительных устройств. Однако широкое промышленное применение системы электрического освещения получили с совершенствованием конструкции и технологии строительства мощных центральных городских электрических станций и систем распределения электрической энергии.

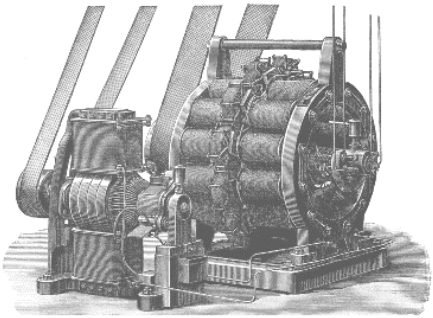
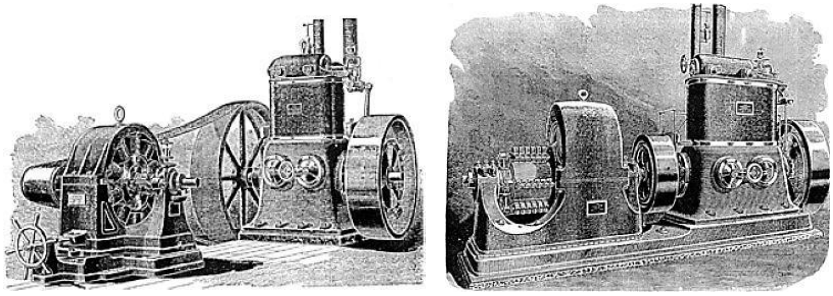


Рис. 78. Динамо-машина переменного тока Сименса
(URL: http://energetika.in.ua/ru/; https://www.siemens.com/)

Для приведения в действие динамо-машин в первое время применялись три вида двигателей: паровые, газовые и гидравлические.

Паровые двигатели состояли из парового котла, паропроводной трубы и собственно паровой машины. Из-за специфических условий сооружения генераторных станций (ограниченное помещение и относительная близость жилых зданий) преимущественное распространение получили водотрубные котлы, в которых испаряющаяся вода помещается во многих узких сообщающихся между собой трубках, охватываемых пламенем. Паровые двигатели, используемые в качестве привода динамо-машин, должны были отвечать определенным требованиям. В частности, динамо-машина требует от парового двигателя очень равномерного хода не только относительно числа оборотов в минуту, но и в отношении скорости вращения в течение отдельных оборотов. Если эта равномерность не достигается, то напряжение на выходе динамо-машины колеблется в значительном диапазоне, к чему очень чувствительны осветительные лампы накаливания: они мигают, например, когда по шкиву проходит слишком толстый шов на ремне или когда ремень слишком слабо натянут (рис. 79, *а*). Подобные случайности заставили машиностроителей и электротехников полностью отказаться от ненадежных ремней. Однако сделать это было нелегко еще и потому, что у паровых машин и динамо-машин была различная угловая скорость вращения валов – соответственно 200 и 1000 оборотов в минуту. Чтобы уравнять угловую скорость, шкивы машин приходилось делать различного диаметра, что обуславливало необходимость соединения их ремнем. Первые быстроходные паровые машины, соединенные с динамо-машиной без помощи ремня, были построены на заводах Вестингауза. Особенность их устройства за-

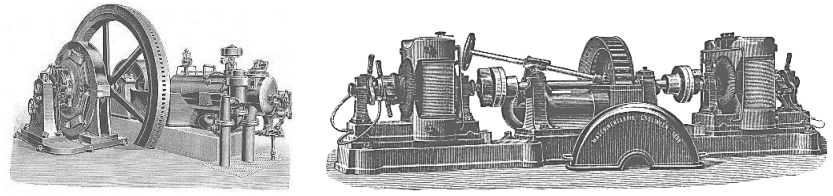
ключалось в применении паровых цилиндров с кривошипно-шатунным механизмом, приводимым в движение паром. При этом весь механизм заключен в оболочку, так что из движущихся частей наружу выдаются лишь оба конца вала (рис. 79, *б*).



а *б*

Рис. 79. Паровой двигатель и динамо-машина, соединенные ремнем (а) и быстроходная пародинамическая машина Вестингауза (б)
(URL: https://profilib.com/)

Кроме паровых машин, для вращения динамо-машин там, где имелся газопровод, применялись газомоторы. Их преимущество заключалось в том, что требовалось сравнительно мало места и они могли быть запущены в работу за несколько минут. Самое широкое распространение получили газомоторы Отто, которых к концу 1894 г. для получения электрического освещения было установлено около 3000. Газомоторный завод в Дейтце (Германия) занимался специально разработкой газового двигателя для этих целей, который обеспечивал практически равномерное вращение и, соответственно, совершенно ровный свет. На заводах в Кергтиндорфе близ Ганновера известная в то время фирма братьев Кертинг организовала массовое производство газомоторов (рис. 80, *а*).



а *б*

Рис. 80. Газомотор Кертинга (а) и динамо-машина с приводом от гидротурбины (б)
(URL: http://energetika.in.ua/ru/)

Наиболее экономичными с точки зрения стоимости производства электроэнергии являются гидравлические двигатели, использующие энергию падающей воды. В качестве водяных двигателей применялись гидротурбины как с вертикальной, так и с горизонтальной осью. Динамо-машина с приводом от гидротурбины (рис. 80, *б*) была построена фирмой «Эсслинген» для завода Терни в Италии. Вода подавалась на лопатки гидротурбин с высоты 280 м при давлении в 18 атмосфер. Благодаря возможности пользования несколькими турбинами в работу вводилось столько динамо-машин, сколько было необходимо в данный момент времени.

3.6. Из истории развития электрических двигателей

Впервые в I в. до н.э. двигатель назвал машиной римский зодчий Марк Полион.

Важнейшим этапом в развитии электроэнергетики явилось изобретение и применение электродвигателей. Принцип действия электродвигателей основан на физическом явлении: виток проводника, по которому протекает электрический ток, будучи помещенным между магнитами, движется поперек силовых линий магнитного поля. Электродвигатель, как правило, компактнее других двигателей, всегда готов к работе, может управляться на расстоянии.

История электродвигателя – сложная и длинная цепь открытий, находок, изобретений. Проследим этапы развития электродвигателей.

Первый этап. Начальный период (1821-1834 гг.), который тесно связан с созданием физических приборов для демонстрации непрерывного преобразования электрической энергии в механическую.

В 1821 г. М. Фарадей, исследуя взаимодействие проводников с током и магнитом, показал, что электрический ток вызывает вращение проводника вокруг магнита, или вращение магнита вокруг проводника. Опыт Фарадея показал принципиальную возможность построения электрического двигателя.

В 1833 г. английский ученый У. Риччи создал прибор, в котором магнитное поле образовывалось постоянным неподвижным магнитом. Между его полюсами на вертикальной оси помещался электромагнит. Взаимодействие полюсов постоянного магнита и электромагнита приводило к вращению электромагнита вокруг оси. Направление тока периодически изменялось коммутатором. Вследствие своей примитивной конструкции и незначительной мощности

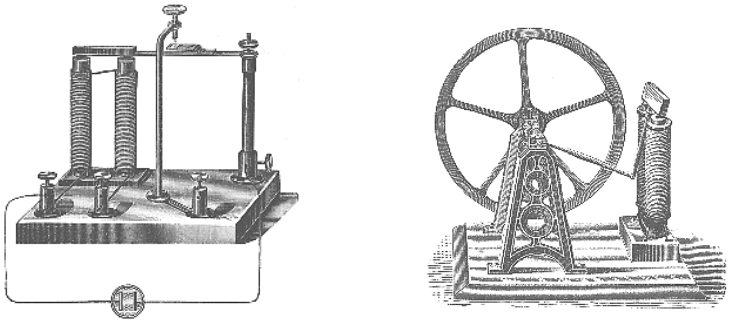
электродвигатель Риччи не мог получить практического применения.

Первые устройства для преобразования электрической энергии в механическую применялись главным образом для получения переменно-возвратного движения в так называемых электрических прерывателях. Основным элементом их является вибрирующий якорь, притягиваемый электромагнитом под действием электрического тока и возвращаемый назад за счет сжатия пружины при разрыве электрической цепи (рис. 81, *а*). Такие устройства получили достаточно широкое распространение в виде, например, электрических звонков. Но значительно интереснее было преобразовать электрическую энергию во вращательную. Наиболее просто этого можно достичь, прикрепив к вибрирующему якорю шатун, действующий на кривошип вала и производящий при помощи качаний вращательное движение. Примером такой простейшей конструкции может служить электродвигатель Грюэля (рис. 81, *б*).

Многие исследователи предлагали различные конструкции электродвигателей.

Первые электродвигатели напоминали по устройству паровые машины: двигатель Дж. Генри (1832 г.) и двигатель У. Пейджема (1864 г.) имели коромысла, кривошип, шатун, а также золотники (переключатели тока в соленоидах, заменявших собой цилиндр).

П. Барлоу предложил *«колесо Барлоу»* (рис. 82). Оно состояло из постоянного магнита и зубчатых колес, скользящий контакт осуществлялся с помощью ртути, а питалось колесо от гальванического элемента.



а *б*

Рис. 81. Автоматический прерыватель (а) и электрический двигатель Грюэля (б)
(URL: http://energetika.in.ua/ru/)

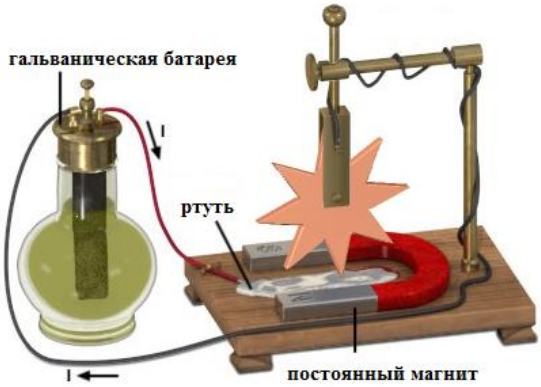


Рис. 82. Колесо Барлоу
(URL: http://www.upsbatterycenter.com/blog/)

Дж. Генри предложил в 1832 г. модель двигателя с возвратно-поступательным движением: подвижный электромагнит поочередно притягивался к постоянным магнитам и отталкивался от них, замыкая и размыкая батареи гальванических элементов. Он совершал 75 качаний в минуту.

Было еще много попыток создания двигателей с качательным движением якоря, но более прогрессивными оказались попытки построить двигатель с вращательным движением якоря.

Второй этап. Второй этап развития электродвигателей (1834-1860 гг.) характеризуется конструкциями с вращательным движением явнополюсного якоря. Однако вращательный момент на валу у таких двигателей обычно был резко пульсирующим.

Увеличивая количество электромагнитов, можно получить значительно более плавное вращательное движение. Две системы электромагнитов первым применил русский ученый Б. С. Якоби, создавший в мае 1834 г. электрический двигатель (рис. 83) с вращательным движением якоря, который действовал по принципу притяжения и отталкивания между электромагнитами. В качестве источника питания электромагнитов использовалась батарея гальванических элементов, а для изменения полярности подвижных электромагнитов – коммутатор.

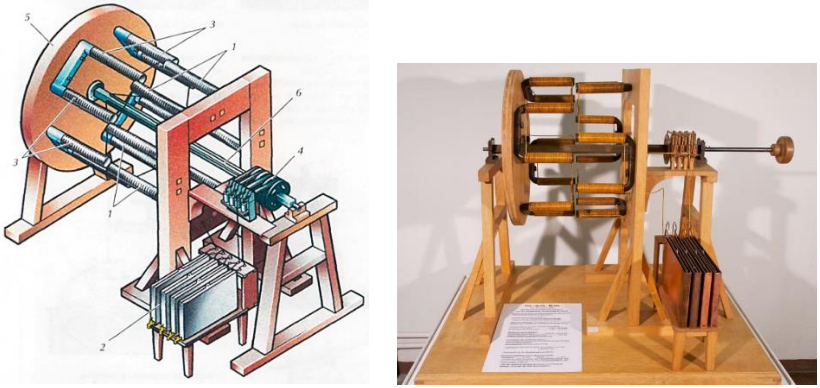


Рис. 83. Электродвигатель Б. С. Якоби:
1 – неподвижная группа U-образных магнитов; 2 – гальваническая батарея;
3 – подвижная группа электромагнитов; 4 – коммутатор; 5 – диск;
6 – вал двигателя
(URL: http://icarbio.ru/articles/pervyj-electromobil.html)

В ноябре 1834 г. Якоби представил Парижской академии наук сообщение об этом устройстве. Известие об изобретении Якоби очень быстро распространилось. Сам автор широко демонстрировал свой электродвигатель и подвергал его опробованию для приведения во вращение различных механизмов. Он исходил из законов и представлений Ампера и Фарадея, дополненных собственными исследованиями, проведенными совместно с академиком Э. Ленцем в конце 1830-х годов. В процессе совершенствования двигателя Якоби объединил несколько электродвигателей в один агрегат, расположив неподвижные и вращающиеся магниты в одной плоскости, то есть пошел по пути механического соединения определенного числа элементарных машин. При этом увеличились размеры электродвигателя в вертикальном направлении, а это было удобно для создания опытной судовой установки. В 1838 г. Якоби построил первый магнитоэлектрический двигатель (0,5 кВт), приводящий в движение на реке Неве против течения лодку.

Одна из петербургских газет 1839 г. писала об испытаниях «электрического бота»: *«… катер с двенадцатью человеками, движимый электромеханической силой (в 3/4 лошади), ходил несколько часов противу течения, при сильном противном ветре… Что бы ни было впоследствии, важный шаг уже сделан, и России принадлежит слава первого применения теории к практике»*.

Испытания электродвигателя Якоби показали возможность практического применения электродвигателей, но в то же время обнаружили, что при питании их током от гальванических батарей (на

боте Якоби вначале было установлено 320 гальванических элементов) механическая энергия получается очень дорогой. Произведенные опыты и теоретическое исследование привели Б. С. Якоби к очень важному выводу: применение электродвигателей находится в прямой зависимости от удешевления электроэнергии, то есть от создания генератора, более экономичного, чем гальванические батареи.

Испытания различных конструкций электродвигателей привели Б. С. Якоби и других исследователей к следующим выводам:

– применение электродвигателей находится в прямой зависимости от удешевления электрической энергии, т.е. от создания генератора, более экономичного, чем гальванические элементы;

– электродвигатели должны иметь по возможности малые габариты и по возможности большую мощность и больший КПД.

Третий этап. Третий этап в развитии электродвигателей (1860-1887 гг.) связан с разработкой конструкций с кольцевым неявнополюсным якорем и практически постоянным вращающим моментом.

На этом этапе (1860 г.) нужно отметить электродвигатель итальянца А. Пачинотти (рис. 84). Его двигатель состоял из явнополюсного якоря кольцеобразной формы, вращающегося в магнитном поле электромагнитов. Подвод тока осуществлялся роликами. Обмотка электромагнитов включалась последовательно с обмоткой якоря, то есть это была электромашина с последовательным возбуждением. Габариты двигателя были невелики, он имел практически постоянный вращающий момент.

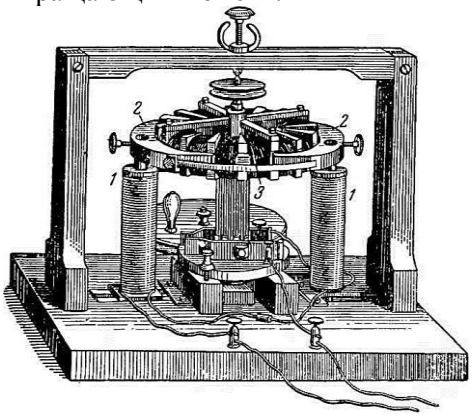


Рис. 84. Электродвигатель А. Пачинотти
(URL: https://refdb.ru/)

Барабанный якорь, в котором рабочим является проводник, составляющий виток, был изобретен лишь в 1872 г. В. Сименсом. Еще

через 10 лет в железе якоря появились пазы для обмотки (1882 г.). Барабанный якорь машины постоянного тока стал таким, каким мы его можем видеть в настоящее время.

Третий этап развития электродвигателей характеризуется открытием и промышленным использованием принципа самовозбуждения, в связи с чем был окончательно осознан и сформулирован принцип обратимости электрической машины. Питание электродвигателей стало производиться от более дешевого источника электрической энергии – электромагнитного генератора постоянного тока.

В 1886 г. электродвигатель постоянного тока приобрел основные черты современной конструкции и в последующем только совершенствовался.

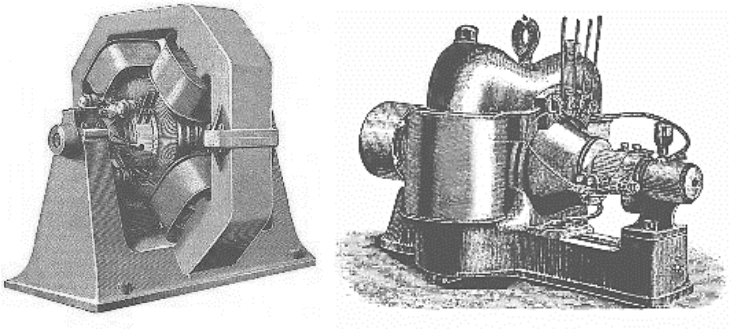
В Европе и Америке наибольшее распространение получили электродвигатели малой и средней мощности, используемые в основном для городского электротранспорта и легкой (например, швейной и текстильной) промышленности.

Электродвигатели постоянного тока в конце XIX в. с развитием центральных электрических станций массово устанавливались на крупных заводах Европы и полностью вытеснили дорогой и ненадежный ременной или цепной привод. Лидером по производству электродвигателей постоянного тока в Германии были «Немецкие электрические заводы» в Ахене. Благодаря своей надежности и компактности эти электродвигатели получили большое распространение.

В сравнении с другими типами двигателей электродвигатель обладал столь важными преимуществами, что очень быстро стал устанавливаться везде, где только была возможна доставка электрического тока. Прежде всего он отличался легкостью установки, простотой ухода и относительной компактностью в сравнении с другими типами двигателей (например газомоторами) аналогичной мощности. Электродвигатели малой и средней мощности не требовали мощных фундаментов и могли устанавливаться прямо на полу или даже на стенных кронштейнах, при квалифицированном обслуживании эксплуатация их была практически безопасна.

В конце XIX в. в Швейцарии серия электродвигателей средней и большой мощности производилась на фирме «Эрликон». При этом на электродвигателях мощностью до 100 л.с. применялся якорь Грамма, а на мощных – до 250 л.с. и более – многополюсный якорь (рис. 85, *а*). В Америке большое распространение получили электродвигатели небольшой мощности, например двигатели конструкции Франка Спрага (рис. 85, *б*).

Необходимо отметить, что в начале XX в. история практического использования электрических двигателей не достигла еще и 15-летнего возраста, но темпы и массовость их применения были очень значительными. Этому способствовали интенсивное строительство центральных городских электрических станций и широко разветвленных распределительных электрических сетей, а также несомненные преимущества электродвигателей в сравнении с паровыми машинами и газомоторами равной мощности.



а *б*

Рис. 85. Мощный электродвигатель постоянного тока швейцарской фирмы «Эрликон» (а); американский электродвигатель средней мощности конструкции Спрага (б)
(URL: http://energetika.in.ua/ru/)

Что касается ухода, то он ограничивался только смазкой подшипников и правильной установкой щеток. Кроме того, с развитием массового применения электрических двигателей центральные городские электрические станции, работавшие в основном в темное время суток для целей электрического освещения, получили возможность значительно более рационально использовать мощности своих генераторов, производя электрическую энергию в дневное время для питания многочисленных электродвигателей.

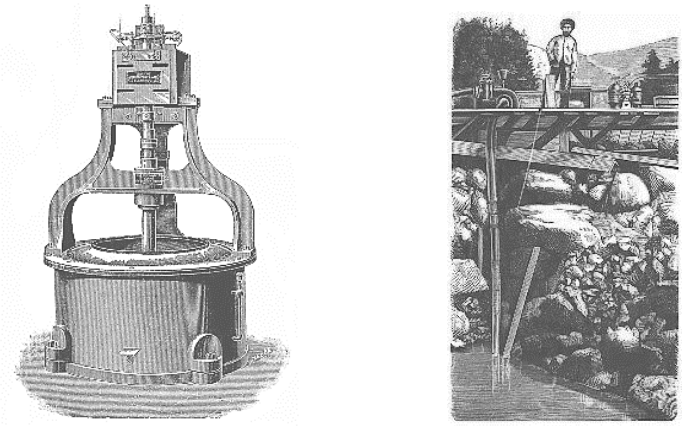
Например, Берлинская центральная электростанция, первоначально созданная в 1884 г. для обеспечения электрического освещения, к концу 1892 г. снабжала электрической энергией 156 электродвигателей постоянного тока общей мощностью в 525 л.с. В следующем году станция снабжала электроэнергией уже 311 электродвигателей мощностью в 1070 л.с., а к 1898 г. общая мощность двигательной нагрузки составила уже 15400 л.с., или 11400 кВт, к которым нужно прибавить еще 2100 кВт двигательной нагрузки электрических железных дорог.

Приход XX в. ознаменовался массовым использованием электропривода постоянного тока в различных отраслях промышленности.

Одно из несомненных преимуществ использования электрических двигателей заключается в возможности повышения коэффициента полезного действия механизма при отказе от неэффективных и ненадежных ременных и цепных передач и переходе на прямой электрический привод.

Особенно значительным это преимущество становится при необходимости использования высокооборотного привода.

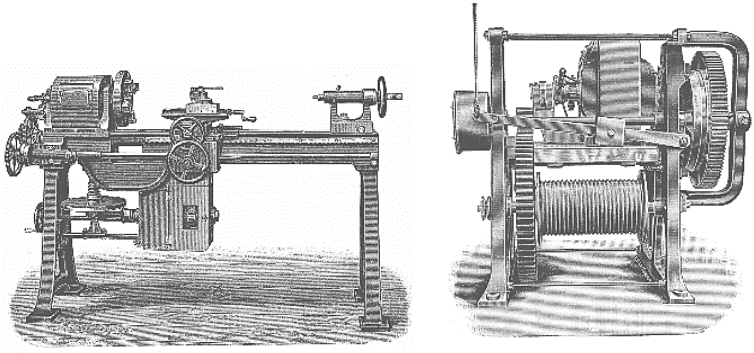
На рисунке 86*а* показана сушильная центрифуга с электрическим приводом производства «Немецких заводов» в Ахене, а на рисунке 86*б* – электрический центробежный насос с двигателем Кертинга. Такая конструкция нашла широкое применение при разработке промышленных и пожарных помп, то есть систем для перекачивания воды.



а *б*

Рис. 86. Сушильная центрифуга с электрическим приводом (а), электрический центробежный насос с двигателем Кертинга (б)
(URL: http://energetika.in.ua/ru/)

В промышленных и жилых зданиях широко использовались вентиляторы с электрическим приводом. Применение электроприводу нашлось и при производстве различных станков, машин и подъемных механизмов. На рисунке 87*а* показан токарный станок с электроприводом, а на рисунке 87*б* – электрический ворот, использовавшийся в различных подъемных приспособлениях, например в лифтах, или при устройстве транспортировочных механизмов.



а *б*

Рис. 87. Токарный станок с электроприводом (а), электрический ворот (б)
(URL: http://energetika.in.ua/ru/)

Из области домашнего применения можно отметить электроприводные швейную, сверлильную и даже зубоврачебную машины.

По роду тока электродвигатели стали делиться на машины переменного и постоянного тока; по принципу действия машины переменного тока делятся на синхронные и асинхронные. Асинхронные двигатели отличаются простотой конструкции, малой стоимостью, надежностью в работе. В настоящее время они являются самым распространенным видом двигателей.

К концу XIX – началу XX в. в Европе и Америке из всех областей применения электродвигателей ни одна не приобрела такого промышленного значения, как электрическая тяга, причем это были электрические локомотивы как для различных рудников и шахт, так и для электрифицированных внутригородских и междугородних железных дорог.

В славной когорте известных ученых и инженеров, посвятивших себя исследованию электричества и внедрению его во все отрасли деятельности человека, видное место принадлежит артиллерийскому офицеру и инженеру, изобретателю первого в мире электрического трамвая Ф. А. Пироцкому.

Ф. А. Пироцкий ещё в 1876 г. предложил «рельсовый экипаж» с электродвигателем и опубликовал результаты своих исследований, которые были осуществлены на заброшенной железнодорожной ветке длиной 3,5 версты вблизи Петербургского порта, в *«Инженерном журнале»* и разослал его многим физикам и электротехникам. Его наблюдения и идеи подтолкнули коллег к работам в этом направлении, и не только в России. Представители фирмы

«Сименс и Гальске» немедленно отправили статью своему руководству в Германию. И вскоре, в 1879 г., на Берлинской промышленной выставке (рис. 88) демонстрировалась первая опытная электрическая железная дорога фирмы «Сименс и Гальске», доказавшая возможность передачи электроэнергии по рельсам для движения вагончиков.

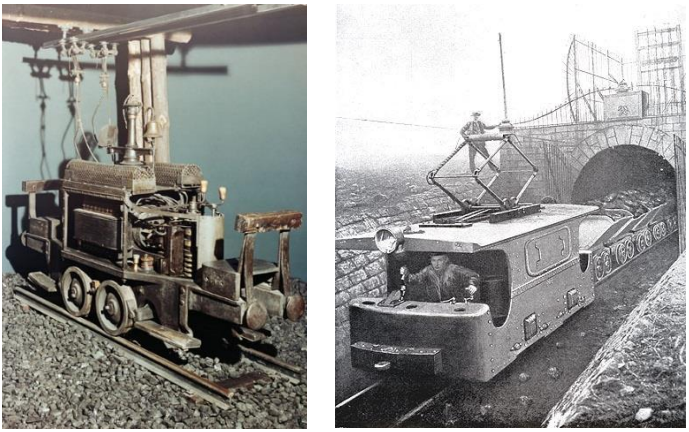
Рис. 88. Первая электрическая железная дорога (Берлин, 1897 г.)
(URL: http://www.etoretro.ru/)

Ее успех заставил фирму для закрепления за собой права собственности на это изобретение построить уже несколько полноценных городских железных дорог в Берлине, Оффенбахе и Вене, а также несколько горнозаводских железных дорог. На рисунке 89 показан электрический рудничный локомотив конструкции «Сименс и Гальске» и фирмы AEG.

Вот как описывали газеты опыты Пироцкого: *«22-го сего августа (1880 г.) в 12 ч дня на Песках, на углу Болотной улицы и Дегтярного переулка, в первый раз в России двинут вагон электрическою силою тока, идущего по рельсам, по которым катятся колеса вагона. Динамоэлектрическая машина подвешена к вагону снизу. В присутствии Управления 2-го Общества конно-железных дорог пробное движение вагона электрическим способом назначено на 1 сентября в 11 ч утра»*.

Ф. А. Пироцкий продолжил дальнейшие исследования уже вместе с известным физиком В. Чиколевым, 12 апреля 1880 г. на первой в мире специальной электротехнической выставке в Петербурге он демонстрировал свои проекты для движения поездов и сделал доклад *«Передача силы на любое расстояние с помощью гальванического тока (проводники – рельсы и провод)»*. Расчеты выполнил известный физик профессор Петербургского лесного института

Дмитрий Лачинов. Через полгода в Берлине с докладом *«Динамо-электрическая машина и её применение на железных дорогах»* выступил Вернер Сименс.



а *б*

Рис. 89. Электрический рудничный локомотив конструкции фирмы «Сименс» (а) и фирмы AEG (б)
(URL: http://elektropolus.com.ua/)

Пироцкий успешно реализовывал свои идеи собственными силами. Все лето 1880 г. он переделывал один из вагонов конной железной дороги (рис. 90, *б*), подвесив к раме электродвигатель и редуктор, которые вращали колеса. Рядом с линией конки была построена небольшая электростанция – электрическая энергия передавалась от небольшого генератора Грамма к электродвигателю, удаленному на расстояние около 1 км.

Испытания и одновременно демонстрация вагона, движущегося без упряжки, продолжались почти весь сентябрь, привлекая внимание специалистов и простой публики, вызывая отклики газет и протесты владельцев конок. Для совершенствования конструкции трамвая у изобретателя не было средств. Военное начальство несколько раз все же брало на себя некоторые расходы на эксперименты с электричеством. В 1881 г. Пироцкий проложил подземную линию, по которой передал электроэнергию от пушечной мастерской до Технической артиллерийской школы. Успех этого проекта подтолкнул власти Петербурга к строительству центральной электростанции.

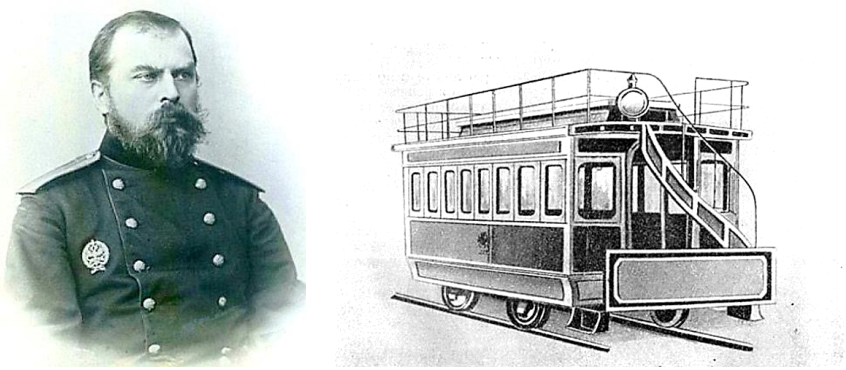
Федор Аполлонович Пироцкий родился в семье помещика, штабс-лекаря Лохвицкого уезда Полтавской губернии (рис. 90, *а*).

В 1866 г. после окончания Михайловского артиллерийского училища в Петербурге он был направлен подпоручиком в Киевскую крепостную артиллерию для прохождения службы. В 1869 г. Пироцкому удалось поступить в Михайловскую артиллерийскую академию на строевой факультет и через два года, после окончания курса, его назначили ревизором в Артиллерийское управление. Ещё в училище он увлекся изучением электрических явлений, но заниматься любимым делом мог только во внерабочее время. В начале 1880 г. Пироцкий предложил несколько конструкций усовершенствованных металлургических и домашних печей, а также печей для выпечки хлеба. В развитии телеграфа также есть определенный его вклад.

Идеи Ф. А. Пироцкого были подхвачены за рубежом и в России достаточно мощными фирмами и состоятельными предпринимателями. В 1881 г. фирма «Сименс и Гальске» начала изготавливать вагоны, конструкция которых совпадала с проектом Пироцкого (рис. 90, *б*).

В середине 80-х годов XIX в. американцы воспользовались этим изобретением, заменив, прежде всего, неудовлетворительную проводку тока по рельсам на простую и удобную воздушную проводку. После этого количество электрических железных дорог в Америке стало расти с каждым годом, начиная от 22 дорог в 1887 г. до 500 в 1891 г. и почти до 900 в 1899 г. В 1897 г. из 800 предприятий, занимающихся городскими пассажирскими перевозками, 700 приходилось на долю электротранспорта. При этом общая длина путей составляла более 13000 миль, а общее количество эксплуатируемых вагонов доходило до 47 тыс.

Успехи практичных американцев заставили значительно более активно развивать электротранспорт и в Европе. Однако американский способ воздушной прокладки проводов по городским улицам встретил в Европе большое сопротивление ввиду того, что якобы протягивание по улицам проводов делает их некрасивыми и создает много других неудобств. Поэтому на первых порах в Европе обратились к подземной проводке тока.



а *б*

Рис. 90. Федор Аполлонович Пироцкий (1845-1898 гг.) (а) и прототип вагона трамвая его конструкции (б)
(URL: https://ru.wikipedia.org/; http://xix-vek.ru/)

Определенной оригинальностью отличался проект подземного городского электрического трамвая фирмы «Сименс и Гальске» в Будапеште. Такой способ постройки был выбран поскольку узкие и перегруженные наземным транспортом улицы Будапешта не допускали ни малейшей возможности строительства наземного либо воздушного трамвая. Открытие Будапештской подземной железной дороги протяженностью около 4 км состоялось 2 мая 1896 г. По подземному двухколейному бетонному туннелю шириной 6 и высотой 3 м передвигалось 10 моторных вагонов, перевозящих по 50 пассажиров, с интервалом движения 5 мин при средней скорости вагонов до 40 км/ч. Электрический ток вся линия получала от центральной электрической станции Будапешта по подземному подводящему кабелю. Но в Европе быстро поняли, что подземная проводка существенно удорожает прокладку линий. Поэтому многие фирмы вскоре перешли на значительно более экономичную воздушную прокладку питающих проводов. Такие линии городского электрического трамвая стали повсеместно сооружаться в Европе. Конструкции их различались только в мелких деталях.

Постройка электрической железной дороги в Берлине была мечтой Вернера Сименса, который уже в 1880 г. хотел осуществить это предприятие, но запрет берлинского полицейского управления отодвинул срок реализации проекта более чем на 10 лет. За это время инженеры фирмы «Сименс и Гальске» в тиши кабинетов разрабатывали новые еще более совершенные проекты, с которыми и выступили опять в начале 1891 г. Еще через два года началось строительство Берлинской воздушной железной дороги, пересекающей

город с востока на запад от Варшавского моста до Берлинского зоологического сада. Поезд состоял из одного моторного и двух пассажирских вагонов общей вместимостью до 150 человек. Вся конструкция с помощью рессор крепилась непосредственно к вагонному основанию. На рисунке 91 приведен общий вид подвесной дороги городского электрического трамвая в Эльберфельде.

Рис. 91. Общий вид подвесной дороги городского электрического трамвая в Эльберфельде
(URL: http://dlyakota.ru/)

Ввод в работу в 1890 г. Киевской городской электрической станции позволил осуществить 2 мая 1892 г. пуск первого в России городского трамвая. Линия длиной 1,5 км проходила по Александровскому спуску от Царской (Европейской) до Нижней (Почтовой) площади. С июля 1892 г. началась регулярная эксплуатация одноколейной трамвайной линии, по которой курсировали два вагона (рис. 92).

В 1893 г. в Киеве эксплуатировались уже две трамвайные линии, а за 10 последующих лет их количество возросло до двадцати. Трамвайное сообщение связывало центр с Глубочицей, Кудреевкой, Сырцом, а также с пригородами – Святошино, Демиевкой, Пущей-Водицей. Всего эксплуатировалось до 300 трамвайных вагонов, а общая протяженность трамвайных линий достигала 160 км. Стоимость поезда составляла 5 копеек за первый тарифный участок и по 3 копейки за каждый последующий. Эксплуатацию такого достаточно протяженного и разветвленного по тем временам город-

ского трамвайного хозяйства Киева обеспечивали несколько мощных городских электрических станций, содержащих специальные динамо-машины постоянного тока мощностью 400 кВт и напряжением 550 В для питания электромоторов трамвая.

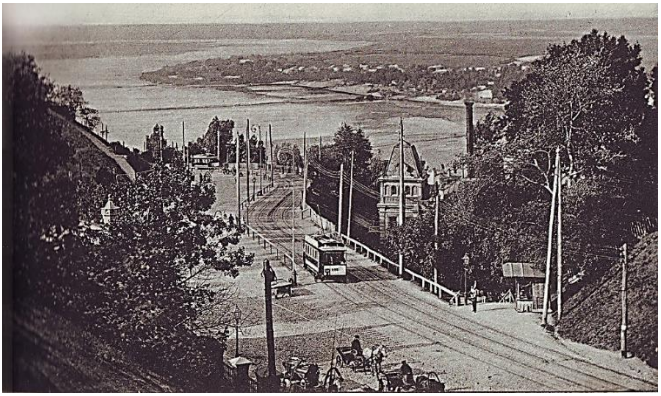


Рис. 92. Первый в России электрический трамвай на Александровском (в настоящее время – Владимирском) спуске в Киеве
(URL: http://lemur59.ru/)

В электрическом отношении электромоторы городских железных дорог практически не отличались от аналогичных электродвигателей. Основной отличительной особенностью первых электромоторов были угольные пластинки, которые заменили быстро выходящие из строя медные коллекторные щетки. Это замечательное изобретение американского электротехника Деноэло впоследствии стало использоваться и в динамо-машинах. Уголь имеет великолепное свойство практически полностью уничтожать образование искр между щеткой и коллектором. Благодаря шлифовке он дает хороший контакт с коллектором и стирается более равномерно в сравнении с металлическими щетками.

Поскольку направление вращения электродвигателя не зависит от направления доставляемого ему тока, то каждый электродвигатель можно приводить в движение и переменным током. Однако в этом случае значительно уменьшается его мощность. Причина этого заключается в том, что переменный ток, проходя по обмотке электромагнитов, создает в сплошных сердечниках так называемые токи Фуко, на образование которых уходит значительная часть доставляемой к двигателю электрической энергии. Кроме того, у двигателей постоянного тока энергия возбуждения электромагнитов расходуется только один раз в начале действия, после чего намаг-

ничивание сердечников остается неизменным. В двигателе же переменного тока сердечники перемагничиваются при каждой перемене направления тока, на что затрачивается часть энергии. Уменьшить потери от токов Фуко пытались, делая сердечник не сплошным, а состоящим из отдельных изолированных друг от друга металлических полос. Однако это не дало приемлемого результата, а практическое применение поначалу получили лишь синхронные двигатели переменного тока.

Особенность действия первых синхронных электродвигателей переменного тока состояла в том, что для поддержания вращения двигателя ему предварительно необходимо сообщить определенный вращательный момент, величина которого определялась частотой переменного тока. После этого переменный ток будет поддерживать частоту вращения двигателя, синхронную с частотой переменного тока. Если после этого придать двигателю тормозной момент, то в зависимости от величины этого момента вращение может либо восстановиться, либо постепенно затухнуть. Именно такой синхронный двигатель переменного тока «Ганца и К°» приведен на рисунке 93.

Он состоит из кольцеобразного многополюсного магнита с изменяющимися под действием переменного тока полярностями, а также расположенного на оси вращающегося звездообразного электромагнита. Для возбуждения этого подвижного электромагнита рабочий переменный ток двигателя преобразуется в постоянный с помощью расположенного на оси специального коммутатора с токосъемными угольными щетками. В момент начального пуска такой двигатель приходит в действие как двигатель постоянного тока. И лишь при достижении им скорости, соответствующей синхронному ходу, начинает работать как синхронный двигатель переменного тока. Такая конструкция обеспечивала, по данным фирмы «Ганца и К°», коэффициент полезного действия до 80%, чего двигатели постоянного тока не достигали даже приблизительно. Кроме того, двигатель «Ганца и К°» не изменял своей скорости вращения при перемене нагрузки на валу, изменялась лишь величина потребляемого тока.

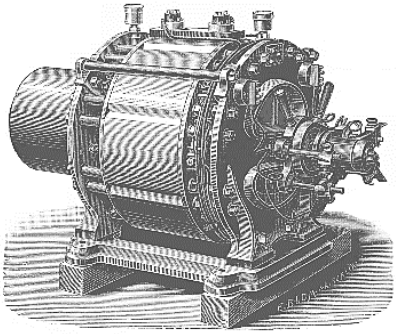


Рис. 93. Синхронный двигатель переменного тока «Ганца и К°»
(URL: http://energetika.in.ua/ru/)

Тем не менее, таким синхронным двигателям переменного тока присущ тот недостаток, что синхронность хода должна быть установлена до принятия нагрузки, после чего двигатель готов начать работу. При значительных перегрузках синхронность хода нарушалась, вплоть до полной остановки двигателя, что весьма ограничивало область его применения.

В 1870 г. была разработана конструкция асинхронных двигателей переменного тока, лишенных вышеуказанного недостатка. Появление такого двигателя, еще называемого индукционным, позволило при наличии систем распределения и трансформации переменного тока необыкновенно расширить сферу практического применения электрической энергии. В очень упрощенном виде принцип действия индукционных двигателей переменного тока основан на эффекте возникновения вращающегося магнитного поля, получаемого от действия двух переменных токов, сдвинутых по фазе на 1/4 часть периода (рис. 94).

К открытию эффекта вращающегося магнитного поля в современном его понимании пришли независимо друг от друга итальянский ученый Галилео Феррарис и сербский ученый и изобретатель Николо Тесла. Способ получения вращающегося магнитного поля Феррарис нашел в 1885 г., а впервые сообщил о своем открытии в докладе Туринской академии наук в марте 1888 г. Двумя месяцами позже, в мае того же года, с изложением существа своих открытий в Американском институте инженеров-электриков выступил Тесла, хотя идея бесколлекторного электродвигателя переменного тока у него появилась ещё в 1882 г.

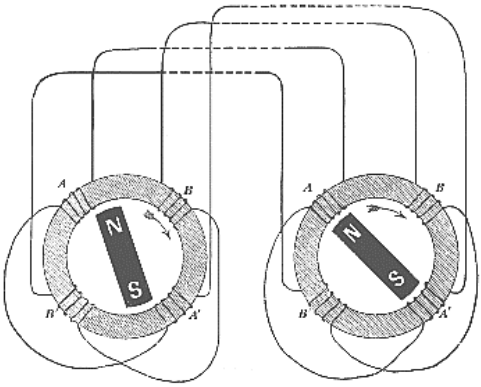


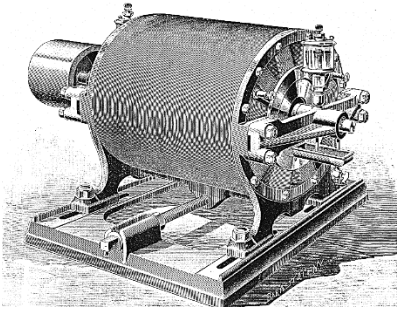
Рис. 94. Эффект возникновения вращающегося магнитного поля от действия двух переменных токов, сдвинутых по фазе на 1/4 часть периода
(URL: http://energetika.in.ua/ru/)

Николо Тесла (рис. 95, *а*) родился в селе Смиляны (ранее Австро-Венгрия, теперь Хорватия). В 1878 г. окончил Политехнический институт в Граце и в 1880 г. – Пражский университет. Работал инженером в Будапеште и Париже. Уехав в 1884 г. в Нью-Йорк, Тесла организовал лабораторию и в 1888 г., исходя из принципа вращающегося магнитного поля, построил двухфазные генератор и электродвигатель переменного тока. В 1891 г. сконструировал резонансный трансформатор (трансформатор Тесла), позволяющий получать высокочастотные колебания напряжения, и первым указал на физиологическое воздействие токов высокой частоты. Он исследовал возможность беспроволочной передачи сигналов и энергии на значительные расстояния. В 1899 г. публично продемонстрировал лампы и двигатели, работающие на высокочастотном токе без проводов. Построил радиостанцию в Колорадо и радиоантенну в Лонг-Айленде. Именем Теслы названа единица измерения плотности магнитного потока (магнитной индукции).

Замечательным свойством двухфазных электрических машин (рис. 95, *б*) является возможность сообщить движение якорю без непосредственного подвода к нему переменного тока. Тем самым исчезает потребность в использовании скользящих контактов, коммутатора или коллектора. Фирма «Вестингауз», где работал Тесла, построила несколько станций по его системе. Наибольшей по масштабам была Ниагарская гидроэлектростанция, построенная в 1896 г., где были установлены такого рода двухфазные машины переменного тока. Однако экономические и технические трудности

использования двухфазной системы привели через некоторое время к полной ее замене на трехфазную.

А



б

Рис. 95. Николо Тесла (1856-1943 гг.) (а) и двухфазный электродвигатель переменного тока (б)
(URL: https://ru.wikipedia.org/; http://teslamusical.com/tesla-slideshow/)

Недостатком электродвигателей Тесла было то, что они имели большое магнитное сопротивление и крайне неблагоприятное распределение намагничивающей силы вдоль воздушного зазора, что приводило к ухудшению характеристик машины. Неудачным оказался и выбор двухфазной системы токов из всех возможных многофазных систем. Встретившиеся экономические и технические трудности задерживали внедрение двухфазной системы в практику.

Более совершенной электрической системой оказалась трехфазная. Наибольшая заслуга среди ученых и инженеров разных стран (немец Ф. Хазельвандер, француз М. Депре, американец Ч. Бредли) принадлежит русскому электротехнику Михаилу Осиповичу Доливо-Добровольскому (рис. 96, *а*), сумевшему придать своим работам практический характер, создавшему трехфазные асинхронные двигатели, трансформаторы, разработавшему четырех и трехпроводную цепи. Его по праву считают основоположником трехфазных систем.

а

б

Рис. 96. Михаил Осипович Доливо-Добровольский (1862-1919 гг.) (а) и его электродвигатель, который находится в рабочем состоянии в Политехническом музее (б)

(URL: https://en.wikipedia.org/; http://www.ruscable.ru/)

Доливо-Добровольский усовершенствовал двигатель Тесла, используя три сдвинутых по фазе переменных тока вместо двух. В 1888 г. он построил первый трехфазный генератор переменного тока мощностью около 3 кВт, от которого привел в действие свой первый трехфазный двигатель со статором в виде кольца Грамма и ротором в виде сплошного медного цилиндра. Дальнейшие работы привели его к построению асинхронного трехфазного двигателя с ротором из литого железа с насаженным полым медным цилиндром. В 1889 г. конструкция асинхронного электродвигателя была значительно улучшена применением ротора типа *«беличьего колеса»*. Опытная установка такой машины поражала всех электротехников своими небольшими размерами при заданной мощности трехфазного электродвигателя. На рисунке 96 *б* показан двигатель трехфазного переменного тока конструкции Доливо-Добровольского.

Одновременно М. О. Доливо-Добровольский исследовал соединения звездой и треугольником, экспериментировал с токами различных напряжений и с машинами, имеющими разное число пар полюсов, разработал все элементы трехфазных цепей переменного тока: трансформаторы трехфазного тока (1890 г.), пусковые реостаты, измерительные приборы, схемы включения генераторов и двигателей звездой и треугольником.

Михаил Осипович Доливо-Добровольский родился 2 января 1862 г. (21 декабря 1861 г. по старому стилю) в многодетной дворянской семье. Михаил был старшим ребёнком. Блестяще окончив курс Одесского реального училища, в 1880 г. становится студентом Рижского политехнического института, решив посвятить себя деятельности инженера-механика. За участие в политических выступлениях студентов в марте 1881 г. он был исключен из института без права поступления в какое-либо русское высшее учебное заведение. Электротехникой М. О. Доливо-Добровольский заинтересовался ещё в Рижском политехническом институте и при решении вопроса о продолжении своего обучения за пределами России он остановился на Дармштадтском высшем техническом училище. С осени 1881 по 1884 г. М. О. Доливо-Добровольский учился на машиностроительном факультете в Дармштадте, специально изучая электротехнику. Здесь в 1882 г. была учреждена специальная кафедра электротехники, которую возглавил профессор Эразм Киттлер, а в январе 1883 г., впервые в практике высшего образования, был введён специальный курс электротехники. В том же году Э. Киттлер открыл электротехническую лабораторию, в которой должность ассистента занимал М. О. Доливо-Добровольский. Уже в ранних студенческих работах проявились выдающиеся инженерные способности Доливо-Добровольского. Он в совершенстве изучил постоянный ток и его применение и на последнем курсе в Дармштадте впервые предложил пусковую схему для шунтового двигателя постоянного тока, что оказало непосредственное и сильное влияние на развитие электрического привода на постоянном токе. В 1884 году, окончив с отличными оценками Дармштадтское высшее техническое училище, он поступил на работу конструктором на заводы электротехнической компании Т. Эдисона (впоследствии фирма AEG (Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft)), а с 1909 г. он уже директор этой фирмы, проработавший в этой должности до конца жизни. В 1887-1888 гг. работал над усовершенствованием электромагнитных амперметров и вольтметров для измерения постоянного и переменного токов. Для различного рода измерительных приборов удачно применил принцип двигателя с вращающимся магнитным полем, создал приборы для устранения в телефонах помех от электрических сетей сильных токов, изобрел способ деления напряжения постоянного тока, основанный на применении неподвижной катушки индуктивности, которую назвал делителем напряжения.

Серьезным шагом М. О. Доливо-Добровольского явился его осознанный переход к трёхфазной системе. В результате исследования различных схем обмоток учёный сделал ответвления от трёх равноотстоящих точек якоря машин постоянного тока. Таким образом, были получены токи с разностью фаз 120 градусов и была найдена связанная трёхфазная система, отличительной особенностью которой являлось использование для передачи и распределения электроэнергии только трёх проводов.

Весной 1889 г. М. О. Доливо-Добровольским был построен трёхфазный асинхронный двигатель мощностью около 100 Вт. Этот двигатель питался током от трёхфазного одноякорного преобразователя и при испытаниях показал вполне удовлетворительные результаты. Вслед за первым одноякорным преобразователем был создан второй, более мощный, а затем началось изготовление трёхфазных синхронных генераторов. Уже в первых генераторах применялись два основных способа соединения обмоток: в звезду и треугольник. В дальнейшем М. О. Доливо-Добровольскому удалось улучшить использование статора с помощью широко применяемого в настоящее время метода, заключающегося в том, что обмотку делают разрезной и противолежащие катушки соединяют встречно.

Важным достижением М. О. Доливо-Добровольского явилось также то, что он сделал обмотку статора распределённой по всей его окружности. Вскоре он внесён ещё одно усовершенствование: кольцевую обмотку статора заменил барабанной. После этого асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором приобрел современный вид.

В том же 1889 г. М. О. Доливо-Добровольский изобрел трёхфазный трансформатор (германский патент № 56359 от 29 августа 1889 года). Вначале это был трансформатор с радиальным расположением сердечников. Затем было предложено несколько конструкций так называемых «призматических» трансформаторов, в которых удалось получить более компактную форму магнитопровода.

Трёхфазная система не получила бы в первые же годы своего существования столь быстрого распространения, если бы не решила проблемы передачи энергии на большие расстояния. В 1891 г. Михаилом Осиповичем была осуществлена Лауфен-Франкфуртская электропередача. Во Франкфурте-на-Майне, во время проведения международной выставки, демонстрирующей электротехнические достижения, перед главным входом на выставку был построен искусственный водопад и установлен мощный асинхронный двигатель Доливо-Добровольского на 100 л.с., который приводил в дви-

жение насос, подававший воду к водопаду. Небольшая гидроэлектростанция с трёхфазным синхронным генератором, которая с помощью понижающего и повышающего трансформаторов, сооруженных Доливо-Добровольским, передавала электроэнергию на невиданное в те времена расстояние в 170 км, была построена на реке Неккар, в местечке Лауфен. Выставка имела грандиозный успех. Делегации учёных и инженеров из-за границы приезжали ознакомиться с устройством невиданной электропередачи даже после закрытия экспозиции. Существует точка зрения, что именно с этого момента берёт своё начало современная электрификация.

В октябре 1891 года была сделана патентная заявка на трёхфазный трансформатор с параллельными стержнями, расположенными в одной плоскости (германский патент №79608 от 4 октября 1891 г. под названием *«Drehstrom-Transformator mit drei Schenkeln nebeneinander in einer Ebene»*). В принципе, эта конструкция сохранилась до настоящего времени.

М. О. Доливо-Добровольский мечтал вернуться в Россию. Предполагалось, что он станет деканом Электромеханического факультета Санкт-Петербургского политехнического института, открывшегося в 1899 г. Этим планам помешали договорные обязательства с AEG, которыми Михаил Осипович был связан.

Последние годы своей жизни М. О. Доливо-Добровольский был занят мыслью о передаче энергии на большие расстояния. Свои взгляды по этому вопросу он изложил в обстоятельном докладе *«О пределах возможности передачи энергии на расстояние переменным током»*.

В 1914 г., когда разразилась Первая мировая война, М. О. Доливо-Добровольский, сохранивший российское подданство, переехал в Швейцарию. В 1918 г. он вновь приехал в Берлин, предполагая вернуться к работе в фирме AEG. Однако болезнь сердца, мучившая его с детства, обострилась. Смерть ученого, происшедшая 15 ноября 1919 г. от сердечной болезни, прервала его работу.

Первое защитное заземление электрических машин предложили русский инженер Р. Э. Классон и француз М. Депре.

3.7. Из истории развития электрических генераторов

В развитии электрических генераторов, так же как и в развитии электродвигателей, можно наметить три основных этапа, хотя это разделение является в достаточной степени условным.

Первый этап (1831-1851 гг.) характеризуется созданием электрических генераторов с возбуждением от постоянных магнитов; такие генераторы получили в то время название магнитоэлектрических.

Одно из наиболее ранних и весьма интересное конструктивное решение генератора с возбуждением от постоянных магнитов было дано в середине 1832 г. анонимным изобретателем, скрывшим свое имя под латинскими буквами Р. М. Этот генератор (рис. 71) состоял из деревянного диска *1*, сквозь отверстия которого были пропущены полюсами вниз четыре подковообразных постоянных магнита *4;* диск укреплялся на вертикальном валике *2* и мог вместе с магнитами приводиться во вращательное движение с помощью рукоятки *3*. На подставке *8* были неподвижно установлены восемь катушек *7* с железными сердечниками; обмотки этих катушек соединялись последовательно. При вращении магнитов в обмотке катушек наводилась переменная ЭДС, и никаких коммутирующих устройств в этой машине не было, следовательно, это устройство являлось первым однофазным синхронным многополюсным генератором. В первом варианте генератора Р. М. железные сердечники *5* катушек не имели замыкающего магнитопровода.

На рисунке 71 представлен второй вариант генератора Р. М., в который изобретатель внес существенное улучшение: он ввел добавочное стальное кольцо *6*, замкнувшее магнитную цепь сердечников, и поместил на кольце в промежутке между катушками добавочные обмотки, соединенные последовательно с обмотками катушек.

С помощью этого генератора удалось разложить воду; поскольку ток был переменным, то при электролизе воды получался гремучий газ. Переменный ток в то время не мог еще найти себе потребителя, так как для всех практических применений электричества (минная электротехника, только что зародившаяся электромагнитная телеграфия, первые электродвигатели) требовался постоянный ток, получавшийся от гальванических элементов. Поэтому последующие изобретатели направили свои усилия на построение генераторов, дающих электрический ток постоянного направления; вот почему в этот период коммутационные устройства получили значительное развитие.

Впервые приспособление для выпрямления тока в попеременно-полюсной машине (в отличие от униполярной машины Фарадея, которая не нуждалась в устройстве для выпрямления тока, так как давала непосредственно постоянный ток) было применено в сентябре 1832 г. в генераторе братьев Пиксии (рис. 72).

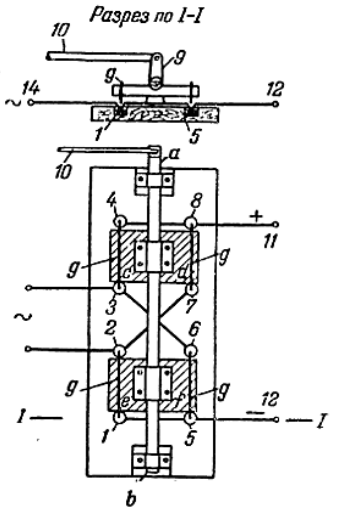


Рис. 97. «Коромысло Ампера»
(URL: https://refdb.ru/)

При вращении подковообразного постоянного магнита наводилась переменная ЭДС в двух неподвижных катушках с железными сердечниками и замыкающей их железной пластиной. Магнит приводился во вращение посредством рукоятки и конической передачи; концы последовательно соединенных катушек выводились к зажимам барабанного коммутатора. В некоторых генераторах в качестве устройства для получения тока неизменного направления (но резко пульсирующего по величине) применялось так называемое «коромысло Ампера» (рис. 97): на качающемся валу *ab*, связанном кинематически через рычаги *9* и *10* с валом генератора, укреплены деревянные пластинки *cd* и *ef* с металлическими дужками *g*. При качании вала концы дужек поочередно опускаются в чашечки с ртутью *1–8*, которые электрически соединены между собой, как показано на рисунке. Если к чашечкам *2* и *3* подводится переменный ток, то на зажимах *11* и *12* получается выпрямленный ток.

Существенным недостатком машин Р. М. и Пиксии являлось то, что в них приходилось вращать более или менее тяжелые постоянные магниты. Представлялось более целесообразным сделать магниты неподвижными, а заставить вращаться более легкие катушки: при этом постоянные магниты менее подвергались вибрации, а следовательно, ослаблялось их размагничивание. Магнитоэлектрические генераторы такого типа оказались значительно более удобными, и именно в такой конструктивной форме они впервые вошли в практику.

Одним из наиболее ранних генераторов этого типа была машина, построенная лондонским механиком Ю. Кларком (1835 г.). Машина (рис. 98) состояла из постоянного подковообразного магнита *1*, который составлялся из отдельных пластин. На валу укреплялась траверза с двумя катушками *2*, имевшими стальные сердечники. Эти катушки при вращении вала перемещались по окружности около полюсов магнита. Для получения тока, неизменного по направлению, на валу генератора укреплялись две пластины (полуцилиндры) *3*, изолированные как от вала, так и между собой. К этим пластинам прижимались контактные пружины *4*, с помощью которых ток отводился во внешнюю цепь (в машине было предусмотрено также контактное устройство для получения переменного тока). Коммутатор машины, изменявший дважды за каждый оборот вала направление тока, представлял собой простейший двухпластинчатый коллектор.

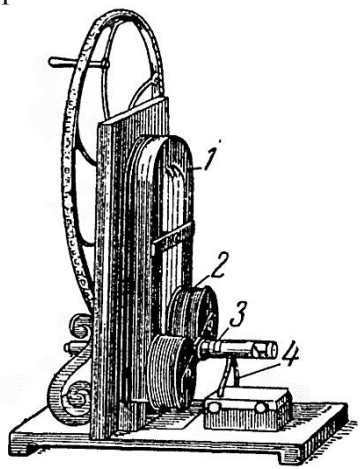


Рис. 98. Магнитоэлектрический генератор Ю. Кларка
(URL: https://refdb.ru/)

Более совершенным, с точки зрения увеличения потокосцепления, но в принципе мало отличавшийся от машины Кларка был магнитоэлектрический генератор Б. С Якоби. Занимаясь усовершенствованием методов электрического взрывания мин, Б. С. Якоби построил в 1842 г. генератор, названный им *«магнитоэлектрической батареей»*. Этот генератор был принят на вооружение гальванических команд русской армии, использовавших его для воспламенения минных запалов. Генератор Якоби (рис. 99) имел два расположенных горизонтально постоянных подковообразных магнита *1*,

разноименные полюсы которых располагались один против другого.

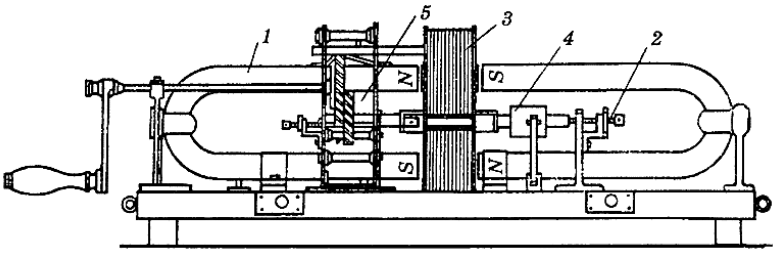


Рис. 99. Магнитоэлектрический генератор Б. С. Якоби
(URL: https://refdb.ru/)

Между полюсами магнитов вращались на валу *2* две катушки *3*, снабженные стальными сердечниками; обмотки катушек соединялись последовательно. Вал *2*, установленный в подшипниках, приводился во вращение от руки через зубчатую передачу *5*. Наведенный в катушках переменный ток выпрямлялся с помощью двухпластинчатого коммутатора *4*. В нерабочем состоянии катушки удерживались стопором.

Стремление увеличить мощность магнитоэлектрических генераторов привело со временем к увеличению числа постоянных магнитов. Этот путь представлял собой не что иное, как такое же, как и в развитии электродвигателей, увеличение числа элементарных машин с целью увеличения мощности. Наибольшее распространение в лабораторной практике 40-50-х гг. XIX в. получил магнитоэлектрический генератор немецкого электротехника Штерера (1843 г.). При помощи генератора Штерера многими учеными, в том числе Э. Х. Ленцем и Б. С. Якоби, было проведено исследование процессов в магнитоэлектрической машине.

Магнитоэлектрический генератор Штерера (рис. 100) состоял из трех неподвижных подковообразных постоянных магнитов *1*, так установленных вертикально в станине, что находящиеся вверху их полюса чередовались (N-S-N-S-N-S). Над магнитами располагалось шесть катушек *2* с вертикальными стержневыми сердечниками, которые были укреплены на стальном кольце, замыкающем магнитную цепь. Это кольцо укреплялось на вертикальном валу. При вращении катушек в их обмотке наводилась переменная ЭДС, а для выпрямления тока был устроен коммутатор *3* (верхняя часть машины). Генератор Штерера приводился от руки. Увеличение числа магнитов до трех несколько увеличило мощность машины, но не сделало ее пригодной для широкого практического применения.

Появление в течение ряда лет довольно большого числа магнитоэлектрических генераторов свидетельствует о насущной необходимости дать для практических целей генератор нового типа, который мог бы быть широко использован вместо дорогостоящих и весьма неудобных для эксплуатации гальванических батарей.

В 1842 г. Д. С. Вулрич изготовил мощный генератор постоянного тока, соединив его ременной передачей с паровой машиной. Такой генератор использовали для питания гальванических ванн, 1842 г. считается годом рождения электроснабжения предприятий.

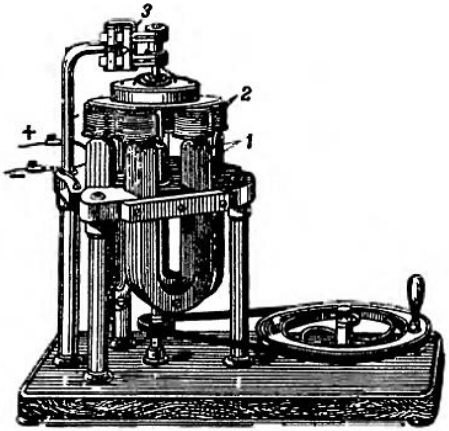


Рис. 100. Магнитоэлектрический генератор Штерера
(URL: https://refdb.ru/)

Общим недостатком всех построенных магнитоэлектрических генераторов являлось то, что мощность их была весьма незначительной и не могла быть достаточной для развития практического использования электричества.

Так, например, дуговые лампы с регуляторами, конструктивно разработанные в конце 40-х годов XIX в., не могли получить практического распространения не столько из-за несовершенного их действия, сколько по причине трудности обеспечить их питание энергией. Можно отметить, что в осветительных устройствах 50-х годов (установка Аршро в Санкт-Петербурге, 1849-1850 гг.; проф. А. С. Савельева в Казани, 1851 г.; А. И. Шпаковского в Москве, 1856 г.; проф. В. И. Лапшина в Харькове, 1860 г. и др.) генерирующее устройство состояло из 600-1000 гальванических элементов. Дуговые лампы с регуляторами дали известный толчок построению более мощных магнитоэлектрических генераторов; в этом же были заинтересованы и некоторые электрохимические производства.

К построению крупных магнитоэлектрических генераторов с приводом якоря от парового двигателя подошли следующим образом. Развитие торгового флота в начале XIX в. после промышленного переворота и начало все расширявшегося применения парового двигателя на морских судах потребовало улучшения морской сигнализации. Необходимо было обеспечить более совершенными маяками побережья, а также наиболее важные с точки зрения безопасности навигации места на морских путях. Появление нового источника света, так называемого известкового или друммондова, создавало возможность увеличить дальность действия маяков; но для питания горелок друммондова света нужны были кислород и водород или их смесь (гремучий газ). Только при обеспечении горелок друммондова света кислородом и водородом можно было использовать все преимущества этого интенсивного источника света. Еще в 1849 г. профессор физики Брюссельской военной школы Нолле принялся за построение большой магнитоэлектрической машины, которая могла бы обеспечить в значительных масштабах электролиз воды для получения кислорода и водорода. Он исходил из конструкции обычных в то время магнитоэлектрических генераторов, но отказался от увеличения размеров магнита или скорости вращения катушек, а пошел по проторенному пути комбинирования в один агрегат большего числа отдельных машин. Здесь еще раз нашла свое отражение отмеченная выше тенденция удовлетворять потребности практики путем увеличения числа уже известных устройств. Работа Нолле была продолжена после его смерти ван Мальдереном (Франция) и Холмсом (Англия).

К 1856 г. конструкция машины была разработана, а в Париже была организована электропромышленная компания «Альянс» для производства таких машин; по названию фирмы получила свое наименование и новая машина.

Устройство магнитоэлектрического генератора «Альянс» было таково (рис. 101). На чугунной станине неподвижно укреплено несколько рядов подковообразных постоянных магнитов *1*, расположенных равномерно по окружности и радиально по отношению к валу. В промежутках между рядами магнитов на валу установлены несущие колеса *2* с большим числом катушек-якорей *4*. В изображенной на рисунке 102 машине число рядов постоянных магнитов пять, число несущих колес четыре, а число катушек на каждом несущем колесе 16; таким образом, общее число магнитов 40, а общее число стержней (явнополюсных якорей) 64.

В различных вариантах машин «Альянс» устанавливалось различное число рядов магнитов (три, пять, семь). На валу генератора

был укреплен коллектор *3* с 16 металлическими пластинами, изолированными друг от друга и от вала машины. Ток, наводимый в катушках при вращении вала, снимался с коллектора при помощи роликов. В машине впервые было предусмотрено устройство *6* для смещения роликов в зависимости от нагрузки; перемещение роликов происходило под действием тяг, идущих от центробежного регулятора *11*, который был связан с валом машины.

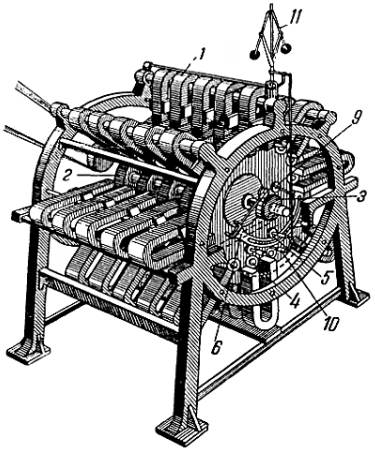


Рис. 101. Общий вид генератора «Альянс»
(URL: https://refdb.ru/)

В генераторе «Альянс» можно было варьировать соединение обмоток катушек, в результате чего могла меняться ЭДС в цепи. Вследствие этого генератор «Альянс» мог давать большой ток низкого напряжения и служить, например, для целей гальванопластики и электролиза, либо ток меньшей силы, но более высокого напряжения (от 40 до 250 В*)* для питания дуговых ламп.

Магнитоэлектрические генераторы «Альянс» были установлены при многих маяках с дуговыми лампами, например на мысе Эв и на мысе Грине (во Франции), в Саут-Форленде и др. в Англии. В течение 1857-1865 гг. в эксплуатации было около 100 машин «Альянс». Одна такая машина требовала для своего привода парового двигателя мощностью 6-10 л.с; вес одной шестидисковой машины «Альянс» доходил до 4 т, причем одни только магниты весили более одной тонны.

Генератор «Альянс» завершил развитие генераторов на первом этапе и лучше, чем другие, меньшие по размерам, машины, показал недостатки, присущие вообще магнитоэлектрическим машинам. Под действием реакции якоря и вибраций постоянные магниты в

такого рода машинах быстро размагничивались, в результате чего ЭДС генератора уменьшалась и снижалась его мощность. Во всех этих машинах применялись стержневые якоря, имевшие многослойную обмотку; якоря при работе быстро и сильно нагревались вследствие плохого отвода от них тепла, что приводило к быстрому разрушению изоляции. Вес и габариты магнитоэлектрических машин были весьма значительными, и крупные машины были сравнительно дорогими. Принципиальным недостатком машин с явнополюсными якорями являлось то, что они давали ток, неизменный по направлению, но резко пульсирующий по величине.

Увеличение мощности магнитоэлектрических машин могло быть лишь отчасти достигнуто путем увеличения размеров постоянных магнитов и соответствующим увеличением числа или размеров катушек; мощные магнитоэлектрические машины, как показывает пример генератора «Альянс», могли конструироваться лишь как сочетание в одном агрегате большого числа простых машин. Эти недостатки привели к тому, что в 50-х годах XIX в. был поставлен вопрос о замене постоянных магнитов электромагнитами.

Так начался **второй этап** развития электрического генератора (1851-1867 гг.), занимавший сравнительно небольшой отрезок времени, характеризующийся преобладанием конструкций генераторов с независимым возбуждением. Первое предложение применить вместо постоянных магнитов электромагниты, возбуждаемые током от магнитоэлектрической машины, было сделано Зинстеденом в 1851 г. в статье *«Существенное усиление магнитоэлектрического вращательного аппарата»*. Вначале это указание не получило своей практической реализации, и только через несколько лет после этого были построены первые машины с независимым возбуждением.

Многие исследователи и инженеры в 1856-1866 гг. независимо друг от друга, раньше или позже пришли к идее самовозбуждения электрогенератора (без гальванического элемента): венгр А. Йедлик (1800-1895 гг.); немец Э. В. Сименс (1816-1892 гг.); англичане Г. Уайлд (1833-1919 гг.), С. А. Варли; американец М. Г. Фармер (1820-1893 гг.); датчанин С. Хьерт (1802-1870 гг.) и другие.

В качестве примера конструкции генератора с электромагнитами, обмотка которых питалась током от независимого источника, может быть указан генератор англичанина Генри Уайльда (1863 г.). Этот генератор (рис. 102) имел П-образный электромагнит *1*, обмотка которого питалась током от отдельного возбудителя *2* (небольшой магнитоэлектрический генератор в данной конструкции, расположенный наверху).

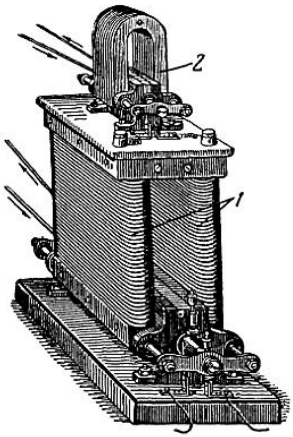


Рис. 102. Генератор Уайльда
(URL: https://refdb.ru/)

Вместо обычно применявшегося ранее стержневого якоря Уайльд применил предложенный Вернером Сименсом в 1856 г. якорь с сердечником двутаврового сечения (так называемый двух-Т-образный якорь), который является разновидностью явнополюсного якоря (рис. 103).

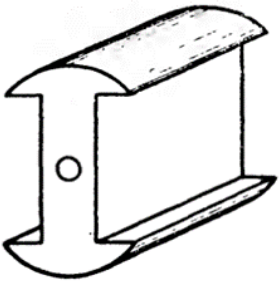


Рис. 103. Сердечник двух-Т-образного якоря
(URL: https://refdb.ru/)

Т-образный якорь имел форму вала с продольными выточками, в которые укладывалась обмотка. Машина, снабженная двух-Т-образным якорем, имела меньшее магнитное рассеяние, чем со стержневым якорем, но в то же время этот якорь, как и стержневой, имея многослойную обмотку с плохим теплоотводом, сильно грелся при работе и тем самым ограничивал мощность машины. Машина Уайльда подготовила конструкторскую мысль к созданию генераторов с самовозбуждением. Действительно, не представило больших затруднений начать питать обмотку возбуждения генератора

Уайльда не током от отдельного источника, а током самой этой машины, соединив, например, последовательно обмотку возбуждения с обмоткой якоря.

После 1867 г. с открытием принципа самовозбуждения в развитии электрического генератора начался **третий этап.**

Хотя принцип самовозбуждения получил широкую известность только после 1867 г., когда почти одновременно в разных странах были построены генераторы с самовозбуждением, однако впервые этот принцип был сформулирован еще в начале 60-х годов. Датский изобретатель С. Хьерт, пытаясь применить электродвигатель на железнодорожном транспорте, занимался разработкой различных конструкций электрических машин. В 1852 г. С. Хьерт пришел к идее самовозбуждения, а в 1854 г. он взял английский патент на машину с самовозбуждением. В этом патенте С. Хьерт достаточно точно и ясно описывает принцип самовозбуждения, но, опасаясь, что остаточного магнетизма будет недостаточно для начального импульса, С. Хьерт наряду с электромагнитами применил и постоянные магниты. Следовательно, эта первая машина с применением самовозбуждения имела фактически комбинированное возбуждение и являлась как бы промежуточным типом между машинами магнитоэлектрическими и машинами с самовозбуждением. Следует отметить, что в других своих работах С. Хьерт указывает, что можно вполне обойтись без постоянных магнитов, обеспечивая начальный импульс остаточным магнетизмом сердечников электромагнитов.

С. Хьерт своими работами несколько опередил свое время, и, кроме того, он не располагал достаточными средствами для промышленного изготовления своих машин в больших масштабах. На идеи С. Хьерт и его машину не было обращено внимания, и они оставались неиспользованными на практике ряд лет. В 1866 г. английские инженеры Кромвель и Сэмьюэль Варли, а в начале 1867 г. Вернер Сименс и английский физик Чарльз Уитстон выступили с описанием принципа самовозбуждения, который фактически был уже предложен С. Хьерт ранее.

Существенным недостатком первых генераторов с самовозбуждением являлось наличие в них неудачной конструкции якоря. Так, рассмотренный выше двух-Т-образный якорь не только ограничивал мощность машины из-за его быстрого нагрева, но и давал резко выраженный пульсирующий ток. В последнем отношении двух-Т-образный якорь ничем не отличался от еще менее удовле-

творительного стержневого якоря, поскольку и тот и другой являются только разновидностями неудачного явнополюсного исполнения якорей машин постоянного тока.

Событием, революционизировавшим развитие электрической машины, положившим начало промышленной электротехнике, явилось объединение принципа самовозбуждения с конструкцией кольцевого якоря. Первой машиной, в которой это было осуществлено, является генератор французского изобретателя (бельгийца по происхождению) З. Грамма. Грамм создал генератор с кольцевым ротором (рис. 104), тороидальной обмоткой и коллектором почти современной конструкции.

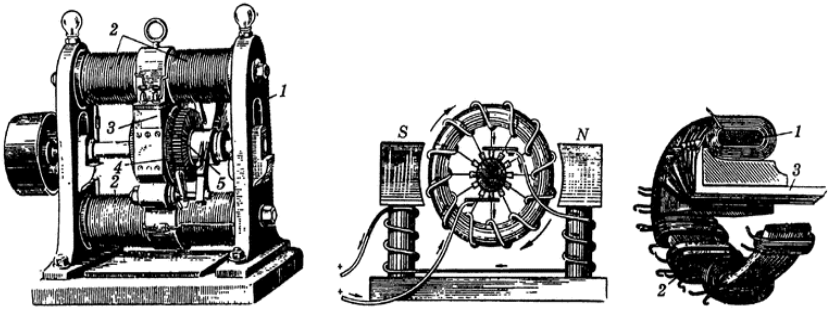


Рис. 104. Самовозбуждающийся генератор Грамма для питания осветительных установок:
1 – станина; 2 – электромагниты; 3 – полюсные наконечники; 4 – якорь; 5 – коллектор
(URL: https://refdb.ru/)

В начальный период конструирования электромагнитных генераторов уже было известно, что ЭДС индукции пропорциональна скорости изменения магнитного потока, пронизывающего контур тока; поэтому увеличение ЭДС в машинах пытались достигнуть путем увеличения скорости якоря. Тщательные измерения показали, что ток, даваемый генератором, сначала растет по мере возрастания скорости, достигает некоторого максимума, а затем линейная зависимость нарушается. Это неожиданное обстоятельство пытались объяснить тем, что при быстром изменении магнитного поля железо не успевает намагнититься (гипотеза В. Вебера).

В 1845 г. изучением этого вопроса занялся Э. Х. Ленц. Исследования, проведенные с машиной Штерера, привели в 1847 г. Ленца к чрезвычайно важным для развития электрических машин выводам. Он показал, что ток нагрузки, протекающий по обмотке якоря, взаимодействует с основным магнитным потоком. В результате этого нейтральная линия машины сдвигается в сторону вращения

якоря. Таким образом, Ленц совершенно правильно описал то явление, которое впоследствии получило название реакции якоря. Следует отметить, что к представлениям о реакции якоря подходил за год до этого и Б. С. Якоби, но исследованием этого явления он не занимался.

Важным практическим результатом исследования Ленцем реакции якоря было его предложение смещать щетки по направлению вращения так, чтобы они были установлены на действительной нейтральной линии. Говоря современным языком, Ленц впервые предложил смещать щетки из геометрической нейтрали в физическую нейтраль. В машине «Альянс», как видно из предыдущего, было уже использовано это предложение: токосъемные ролики (щетки) перемещались под действием тяг, идущих от центробежного регулятора, который в свою очередь связан с валом машины.

Существенным вкладом в развитие электрической машины было исследование Зинстеденом сердечников якорей. В результате анализа многочисленных работ своих современников (в том числе Э. Х. Ленца и Б. С. Якоби) и в результате экспериментальных наблюдений Зинстеден пришел к выводу о целесообразности замены массивных стержней пучками тонкой стальной проволоки.

Это прогрессивное предложение в то время в практике электромашиностроения не привилось, и до 70-х годов продолжали строить машины с массивными сердечниками.

Первый математический анализ работы машины с самовозбуждением, равно как и вообще первое чисто математическое исследование процессов в электрической машине, сделал выдающийся английский физик Джемс Кларк Максвелл. В работе, опубликованной в 1867 г., Максвелл, между прочим, впервые ввел понятие о постоянной времени в цепях электрической машины.

В 1880 г. американец Т. Эдисон предложил делать магнитопровод якоря электрогенератора наборным из изолированных стальных листов. Это уменьшило потери и реакцию якоря.

В 1884 г. была предложена компенсационная обмотка, а в 1885 г. – дополнительные полюса для уменьшения реакции якоря и улучшения коммутации.

Создание электрогенераторов и электродвигателей на постоянном токе решало многие вопросы существующей в то время энергетики, но передача энергии на дальние расстояния оказалась затруднительной.

В 1876 г. П. Н. Яблочков создал дуговые лампы, которые гораздо эффективнее работали на переменном токе. Для питания нескольких дуговых ламп от одного источника Яблочков использовал

индукционные катушки с ответвлениями – прообраз трансформатора или простейший трансформатор с разомкнутым сердечником.

Введение переменного тока должно было позволить передавать электроэнергию с помощью повышающих трансформаторов напряжения на большие расстояния. Но теперь встал вопрос о создании генераторов переменного тока.

Впервые идею вращающегося электромагнитного поля высказал Д. Араго в 1821 г., а в 1885 г. – Г. Феррарис (1847-1897 гг.) предложил использовать двухфазный ток (систему двух переменных токов, сдвинутых по фазе на 90°), который дает возможность получить *«вращающееся магнитное поле»*, и построил двигатель переменного тока.

Николе Тесла удалось построить систему из двухфазного генератора, трансформатора и двигателя. Она была использована на Ниагарской гидростанции в США, система требовала четыре провода для передачи электроэнергии.

В 1888 г. русский изобретатель М. О. Доливо-Добровольский создал трехфазную систему токов, которая затем получила признание и распространилась во всем мире как наиболее удобная и экономичная.

Вращающееся магнитное поле было получено путем сдвига фаз между токами одинаковой амплитуды на 120°. М. О. Доливо-Добровольский разработал ротор с обмоткой в виде беличьей клетки и создал короткозамкнутый асинхронный двигатель.

Трехфазная система, состоящая из трехфазного генератора, трехфазного двигателя и трехфазного трансформатора, требовала для передачи и распределения электроэнергии всего три провода, являясь в то же время симметричной, уравновешенной и экономичной. Затраты металла были на 25% меньше, чем в двухпроводной линии однофазной системы.

Трехфазный синхронный генератор был построен Доливо-Доброволь-ским в 1890 г. Впервые передача трехфазного тока на расстояние 170 км была продемонстрирована на Международной электротехнической выставке во Франкфурте-на-Майне в 1891 г. во время Международного конгресса электротехников.

На базе электрических генераторов и электродвигателей стал конструироваться индивидуальный привод станков, механизмов и других устройств.

3.8. Из истории развития трансформаторов

Восьмидесятые годы XIX в. вошли в историю электротехники под названием периода *«трансформаторных битв»*. Такое необычное название они получили потому, что изобретение трансформатора явилось одним из сильнейших аргументов в пользу переменного тока, а настоящая битва шла между сторонниками систем постоянного и переменного токов и отражала поиски путей выхода из назревшего энергетического кризиса, связанного с проблемой централизованного производства электроэнергии и передачи ее на большие расстояния.

Явление, лежащее в основе действия электрического трансформатора, было открыто английским физиком Майклом Фарадеем в 1831 г. при проведении им основополагающих исследований в области электричества. Это событие стало настоящей революцией в молодой тогда области электротехники, связанной с созданием цепей электрического освещения.

Первым простейшим трансформатором с разомкнутым магнитопроводом была индукционная катушка. Ее изобретение в 30-40-х годах XIX в. связано с именами ряда ученых и изобретателей, но наибольшую известность получил немецкий механик Генрих Румкорф (1803-1877 гг.), создавший в 1848 г. более совершенную конструкцию, и его именем впоследствии стали называть индукционную катушку.

Такие катушки предназначались для получения искрового разряда во вторичной цепи при прерывании постоянного тока в первичной цепи.

Впервые катушку Г. Румкорфа применил для дистанционного взрывания мин Б. С. Якоби. В последней трети XIX в. индукционные катушки получили широкое применение в системах зажигания двигателей внутреннего сгорания.

Роль индукционной катушки, превратившейся в аппарат, названный позднее трансформатором, как средства электрического разделения цепей переменного тока, отчетливо осознал П. Н. Яблочков.

Даже самим фактом патентования системы «дробления света» во многих странах он как бы подчеркивал важность нового предложения. Во французском патенте №115793 от 30 ноября 1876 г. он писал: *«Предметом этого изобретения является распределение токов в целях производства электрического света, позволяющее получить, пользуясь цепью, питаемой одним единственным источником электричества, неопределенное число источников света…»*. И как бы отмежевываясь от привычных схем индукционных катушек, он указывает: *«Если я применяю … электрический источник*

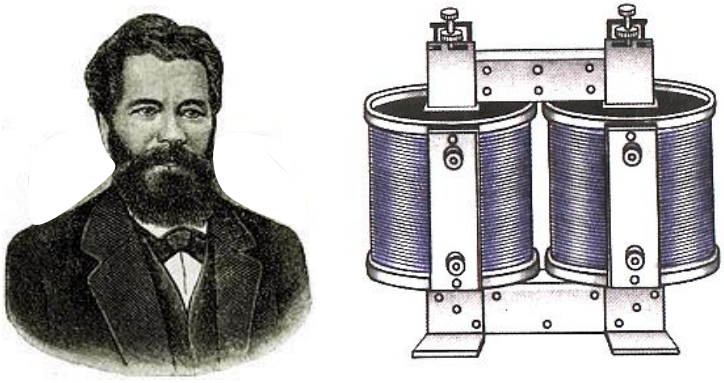
переменного тока, общее расположение остается неизменным, но прерыватель становится ненужным …».

Система «дробления света» Яблочкова широко демонстрировалась два раза: на Парижской Международной электротехнической выставке в 1881 г. и на Второй Петербургской электротехнической выставке в 1882 г., где всю систему смонтировал и экспонировал препаратор Московского университета Иван Филиппович Усагин.

Бобины, как их тогда называли, имели одинаковое число витков в первичной и вторичной обмотках, а стальной сердечник был разомкнутым и представлял собой стержень, на который наматывались обмотки. На этой же выставке И. Ф. Усагин впервые демонстрировал схему включения во вторичные обмотки индукционных катушек кроме свечей и других приемников: электродвигателя, проволочной нагревательной спирали, дуговой лампы с регулятором.

Все эти приемники могли работать одновременно, не мешая друг другу. Этим экспериментом И. Ф. Усагин убедительно доказал универсальность применения переменного тока.

Иван Филиппович Усагин (рис. 105, *а*) родился в деревне Рыковой (теперь Нагорное) Клинского уезда Московской губернии. В юношеском возрасте он переехал в Москву и стал помогать отчиму по торговле в лавке, выполняя обязанности приказчика.



а *б*

Рис. 105. Иван Филиппович Усагин (1855-1919 гг.) (а) и трансформатор его конструкции (б)
(URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/; http://netnado.ru/)

Увлекшись физикой, в декабре 1874 г. он написал письмо Н. А. Любимову, который пригласил его на работу учеником меха-

ника мастерских Московского университета. Любимов лично обучал Усагина началам наук, поддерживал его материально. Наставником Усагина стал и механик Т. Ф. Симонов, после смерти которого в 1882 г. демонстрация физических опытов была поручена Усагину – он до конца своей жизни был бессменным демонстратором опытов на публичных лекциях по физике.

Летом 1882 г. на Всероссийской промышленно-художественной выставке в Москве И. Ф. Усагин продемонстрировал своё изобретение – трансформатор промышленного типа (рис. 105, *б*), который значительно отличался от катушки Румкорфа и трансформатора П. Н. Яблочкова. При помощи этого трансформатора был освещён павильон электричества промышленно-художественной выставки. Своё изобретение И. Ф. Усагин называл *«вторичным генератором»*. Экспертная комиссия выставки, возглавляемая К. А. Тимирязевым, *«на основании статей 7, 15, 19 Положения об экспертах и наградах»* наградила И. Ф. Усагина *«дипломом II разряда, соответствующего серебряной медали, за успешные опыты электрического освещения через посредство отдельной индукции и в поощрение к дальнейшей разработке этой методы»*. И. Ф. Усагину был выдан диплом за № 10565, в то же время патент на своё изобретение он взять не смог из-за недостатка финансовых средств. Спустя много лет, в октябре 1897 г., Общество любителей естествознания, антропологии и этнографии присудило Усагину премию имени В. П. Мошнина *«за открытие трансформации токов»*.

Для лекций Н. А. Любимова Усагин сконструировал ряд физических приборов, ряд приборов усовершенствовал. Известен изготовленный им прибор для демонстрации движения тел в системах с ускорением (демонстрация с падающей рамой). Работая под руководством А. Г. Столетова, он принимал непосредственное участие в исследованиях Столетова по фотоэффекту. В статье *«Актиноэлектрические исследования»* А. Г. Столетов, отметив сотрудничество Усагина в этих исследованиях – изготовление приборов и приспособлений, ценные советы о наибольшей эффективности опытов, – выразил ему *«…вполне заслуженную им благодарность»*. Так, для получения вакуума в исследованиях Столетова Усагин усовершенствовал ртутный насос, о чём в 1890 г. в *«Журнале русского физико-химического общества»* была опубликована статья И. Ф. Усагина *«Улучшение в ртутном насосе Шпренгеля»*. Также Усагин сконструировал электрическую машину типа Вимшерста, усовершенствовал машину Линде устройством специального приспособления, усовершенствовал молекулярный насос Геде. Много времени он уделял исследованиям в области цветной фотографии по методу

Липпмана. Проведя многочисленные опыты, он создал специальный аппарат для фотографирования солнечных затмений; ему удалось получить большое количество снимков спектров твердых и газообразных тел – в этой области он стал учителем К. В. Чибисова. По приглашению Липпмана И. Ф. Усагин вместе с А. В. Цингером участвовал в Первом Международном конгрессе физиков в Париже.

С 1881 г. И. Ф. Усагин работал механиком и демонстратором физических опытов на публичных лекциях отдела прикладной физики Политехнического музея. В этой должности он проработал до конца своей жизни.

С 1893 г. И. Ф. Усагин стал сотрудничать с Н. А. Умовым; он бессменно демонстрировал физические опыты на всех лекциях Умова в университете и на публичных лекциях. По ходатайству Н. А. Умова, при поддержке А. П. Соколова, в 1899 г. за заслуги перед наукой И. Ф. Усагину было присвоено звание личного почётного гражданина.

Общество любителей естествознания в 1892 г. избрало И. Ф. Усагина своим действительным членом, Московское общество испытателей природы 16 октября 1897 г. избрало его членом-корреспондентом, а Педагогическое общество Московского университета – своим членом-сотрудником.

В 1909-1910 гг. И. Ф. Усагин вместе с молодым физиком-ассистентом Н.П. Метелкиным начал исследования фосфоресценции газов при электрических разрядах, наблюдавшуюся ещё в опытах А. Г. Столетова.

В 1915 г. благодаря настойчивым ходатайствам учёных Московского университета и попечителя Московского учебного округа, министр просвещения представил доклад царю, на основании которого И. Ф. Усагин был *«высочайше»* утверждён в должности старшего ассистента по кафедре физики физико-математического факультета Московского университета, хотя на эту должность могли назначаться только лица с университетским образованием.

Иван Филиппович Усагин скончался 26 февраля 1919 г. во время эпидемии тифа и был похоронен на кладбище в родном селе Петровское.

После создания трансформатора для повышения или понижения напряжения в 1882 г. русским электротехником И. Ф. Усагиным и в 1884 г. французским инженером Болардом появилась возможность передавать электричество на дальние расстояния, так как с возрастанием значения передаваемого напряжения уменьшались потери электрической энергии, и появилась возможность уменьшить сечение проводов.

В 80-х годах XIX в. становилось все яснее, что система электроснабжения на постоянном токе не имеет перспектив. Из опыта эксплуатации дуговых источников света было установлено, что значение оптимального напряжения равно 110 В. Радиус электроснабжения не превышал несколько сотен метров.

Попытки расширить границы района электроснабжения привели к рождению так называемой трехпроводной системы постоянного тока. Но основным направлением развития электроэнергетики уже в 80-х годах становится система переменного тока.

Новым шагом в использовании трансформаторов с разомкнутым сердечником для распределения электроэнергии явилась система распределения электричества для производства света и так называемой двигательной силы, запатентованная во Франции в 1882 г. английским электротехником Дж. Д. Голяром (1850-1888 гг.) и французским электротехником Люстеном Гиббсом (умер в 1912 г.).

Эти трансформаторы предназначались уже не только для *«дробления»* энергии, но и для преобразования напряжения, т.е. имели коэффициент трансформации, отличный от единицы.

Общий вид *«вторичного генератора»* (как его называли) изображен на рисунке 106.

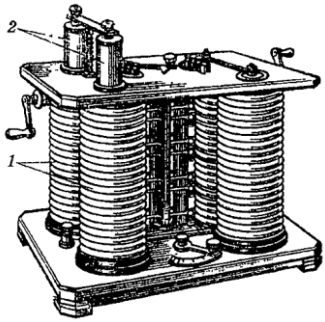


Рис. 106. Трансформатор Голяра и Гиббса
(URL: http://helpiks.org/)

На деревянной подставке укреплялось несколько индукционных катушек, первичные обмотки *1* которых соединялись последовательно. Вторичные обмотки катушек были секционированы, и каждая секция имела два вывода для подключения приемников. Заслуживают внимания выдвижные сердечники *2* катушек, с помощью которых регулировалось напряжение на вторичных обмотках.

Трансформаторы с разомкнутым сердечником в 1883 г. устанавливаются на подстанциях Лондонского метрополитена, а в 1884 г. – на выставке в Турине (Италия).

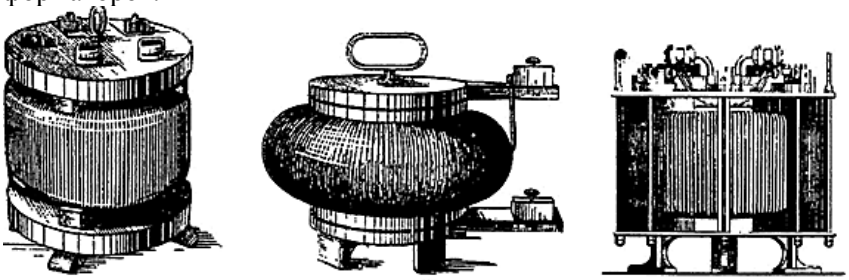
Современные трансформаторы имеют замкнутый магнитный сердечник, их первичные обмотки включаются параллельно. Но для схемы «дробления» энергии, предложенной П. Н. Яблочковым, трансформаторы с разомкнутым сердечником вполне удовлетворяли техническим требованиям. При последовательном соединении первичных обмоток включение и выключение одних потребителей не оказывало существенного влияния на режим работы других. При параллельном включении приемников применение трансформаторов с разомкнутыми сердечниками становилось технически неоправданным. Поэтому понятно стремление сконструировать трансформаторы с замкнутой магнитной системой, которые обладают значительно лучшими характеристиками, имея меньший намагничивающий ток, а следовательно, меньшие потери и больший КПД.

Первые трансформаторы с замкнутым сердечником были созданы в Англии в 1884 г. братьями Джоном и Эдвардом Гопкинсонами. Сердечник этого трансформатора был набран из стальных полос или проволок, разделенных изоляционным материалом, что снижало потери на вихревые токи. На сердечнике помещались, чередуясь, катушки высшего и низшего напряжений.

Впервые предложение о параллельном включении обмоток трансформаторов высказал Р. Кеннеди в 1883 г., но всесторонне этот способ соединения обосновал венгерский электротехник Миклош Дери (1854-1934 гг.), который в 1885 г. получил патент на параллельное включение первичных и вторичных обмоток трансформаторов и показал преимущество такого включения. Независимо от него аналогичный патент в Англии получил С. Ц. Ферранти.

Передача электрической энергии переменным током высокого напряжения оказалась возможной после создания однофазного трансформатора с замкнутой магнитной системой, имевшего достаточно хорошие эксплуатационные показатели. Такой трансформатор в нескольких модификациях (кольцевой, броневой и стержневой) разработали в 1884-1885 гг. венгерские электротехники Миклош Дери, Отто Блати (1860-1938 гг.) и Карой Циперновский (1853-1942 гг.), впервые предложившие и сам термин «трансформатор». В патентной заявке (февраль 1885 г.) они отмечали важное значение замкнутого шихтованного сердечника, в особенности для мощных силовых трансформаторов. На рисунке 107 изображены первые образцы кольцевого и броневого трансформаторов, а также общий вид

серийного трансформатора системы Блати, Дери и Циперновского, выпускавшегося электромашиностроительным заводом фирмы «Ганц и К°» в Будапеште. Эти трансформаторы содержали все основные элементы современных конструкций однофазных трансформаторов.



а *б* *в*

Рис. 107. Первые трансформаторы будапештского завода фирмы «Ганц и К°»:
а – кольцевой; б – броневой; в – серийный стержневой
(URL: http://helpiks.org/)

Венгерские инженеры нашли оптимальные соотношения между расходом меди и стали в трансформаторах и обеспечили своей продукции широкий сбыт на мировом электротехническом рынке. В частности, эта фирма осуществила в 1887 г. одну из первых в России установок переменного тока для освещения оперного театра в г. Одессе.

На территории завода «Ганц и К°», где сто с небольшим лет назад создавали первый трансформатор, в наши дни разместились корпуса завода «Ганц Моваг», выпускающего электропоезда и сложное электрооборудование для энергетики. На заводе есть музей, в котором главное место отведено истории создания трансформатора.

В 1885 г. фирмой «Вестингауз» был построен первый автотрансформатор, который предложил американский электрик Уильям Стенли. В конце 80-х годов английский электрик Д. Свинберн предложил масляное охлаждение трансформаторов.

В настоящее время на электрических станциях и подстанциях применяют понижающие и повышающие, двух- и трехобмоточные, трехфазные и однофазные силовые трансформаторы, масляные и сухие.

Трансформаторы тока применяют в установках переменного тока всех напряжений для последовательных катушек измерительных приборов и реле защиты. Первичную обмотку трансформатора

тока включают в цепь последовательно, а ко вторичной обмотке также последовательно присоединяют катушки приборов и реле. Между первичной и вторичной обмотками трансформатора тока нет электрической связи, поэтому они надежно изолируют приборы и реле от напряжения установки.

Трансформаторы напряжения применяют в установках переменного тока для питания параллельных катушек измерительных приборов и реле защиты. Первичную обмотку трансформатора напряжения подключают параллельно к сети, а ко вторичной обмотке присоединяют параллельно катушки приборов и реле.

Трансформатор является одним из ключевых компонентов современной энергетической системы. Он преобразует напряжения в низкие или высокие с малыми потерями энергии. Является важным элементом многих электроприборов, механизмов и устройств: зарядных устройств, радиоприемников, телевизоров, подстанций, электростанций и т.п.

Размеры трансформаторов могут варьировать от горошины до громадин весом в 500 т.

Уменьшение габаритов трансформаторов достигается за счет более эффективного отвода тепла с помощью вентиляторов, внешних радиаторов, специальных насосов. Применяются системы испарительного охлаждения, однако они пока слишком дороги.

Процесс совершенствования системы изоляции и охлаждения трансформаторов продолжается: улучшаются конструкции трансформаторов, способы охлаждения, ведётся поиск возможности использования сверхпроводимости обмоток.

В настоящее время функции трансформаторов могут брать на себя полупроводниковые приборы. Однако трансформаторы еще будут выполнять свою службу довольно длительное время, эффективно и незаметно поддерживая функционирование электроэнергетических систем, от которых зависит так много в нашей современной жизни.

3.9. Из истории развития электротехнических материалов

Материалы в развитии цивилизации всегда играли очень важную роль. Известный американский ученый А. Хиппель высказал мнение, что историю цивилизации можно описать как смену используемых человечеством материалов. Их значение подчеркнул и чехословацкий ученый О. Гоудек, который утверждал, что уровень

технического развития страны в большой мере зависит от материалов, которыми она располагает, причем структура и свойства материалов определяют сортамент продукции и технологию ее изготовления. Необходимым условием успешного развития любой технической отрасли является наличие хороших материалов. Электротехника здесь не является исключением. Она относится к исторически молодым отраслям, поэтому в ней трудно выделить периоды подавляющего господства отдельных материалов. В развитии материальной базы происходили определенные скачки, которые сделали возможным открытие новых электротехнических материалов. Сюда можно отнести начало нашего столетия, когда с использованием первого электроизоляционного материала макромолекулярного характера – бакелита в электротехнике началась эра пластических масс. Аналогичные скачки обусловили открытие во время второй мировой войны первых сегнетоэлектрических материалов, пригодных к широкому техническому применению, а после этого внедрение в технику ферритов и полупроводников.

Все исследователи, изобретатели, электротехники понимали: для того чтобы осуществить свои идеи – надо их материализовать, а для этого нужны материалы с определенными свойствами.

В 1729 г. английский физик Стефан Грей (1666-1735 гг.) открыл явление электропроводности и установил, что электричество может передаваться от одного тела к другому по влажной бечевке на расстояние 765 футов (233 м), но не передается по шелковой нити. Он также установил, что электропроводность зависит от материала, из которого сделан проводник. Грей первым разделил все вещества на проводники и непроводники электричества. К проводникам относятся все металлы, уголь, графит, растворы кислот, оснований, солей и т.д. Тела, в которых электрические заряды не могут свободно перемещаться (не передают электричество или передают его с большим трудом), получили название непроводников (изоляторов или диэлектриков). Это стекло, смола, фарфор, каучук, эбонит, шелк, дистиллированная вода, керосин, газы и многие другие вещества. Стефан Грей обнаружил еще, что некоторые тела (например, волос, смола, стекло) долгое время сохраняют сообщенное им электричество, и ему удалось сохранить электрические свойства этих тел до тридцати дней. Электрические свойства одного и того же вещества в зависимости от внешних условий могут изменяться. Например, стекло обычно является изолятором, но, находясь во влажном воздухе, оно в значительной мере теряет свои изоляционные свойства. Если же его сильно нагреть или расплавить, то стекло начинает проводить электричество.

В. В. Петров создал одну из лучших в мире лабораторию, в которой насчитывалось более 630-ти приборов. Большинство этих приборов изготовил он сам. В этой лаборатории работали замечательные ученые Э. Х. Ленц, Б. С. Якоби и др. В своей лаборатории В. В. Петров испытывал электропроводность различных твердых и жидких материалов, составлял справочные таблицы их свойств.

Материалы стали разделять на проводящие и изолирующие. Ток должен протекать по материалам с высокой электропроводностью, но в то же время эти каналы проводимости должны быть изолированы друг от друга.

Петров одним из первых стал изолировать проводники тока шелком, пропитанным смолой или маслом. Затем он делал изоляцию с помощью расплавленного сургуча.

В 1812 г. русский изобретатель П. Л. Шиллинг предложил гуттаперчивую изоляцию для проводов, прокладываемых под водой – подводный электрический кабель. В 1832 г. для электромагнитного телеграфа П. Л. Шиллинг применил каучук и пленку, пропитанную воском. В 1837 г. он создал подводную телеграфную линию с резиновой изоляцией между Петербургом и Кронштадтом. В 1839 г. Б. С. Якоби изобрел пишущий электромагнитный телеграф, провода которого изолировал резиной и поместил их в свинцовую трубку. Первые подземные телеграфные кабели предложили П. Л. Шиллинг и Б. С. Якоби. Кабель с изоляцией пропускался через стеклянные или стальные трубки, которые в свою очередь укладывались в деревянные желоба, помещаемые в траншеи.

При введении серы в каучук получали резину. Если содержание серы в каучуке увеличивали, то получался эбонит – твердое вещество для изготовления электроприборов. В начале сороковых годов XIX в. начинают широко применять резину и гуттаперчу.

В 1847 г. В. Сименс (Германия) применил резиновую изоляцию проводов и кабелей.

С 1879 г. изолированный провод стали покрывать свинцовой оболочкой. В 1879 г. Ф. Борель (Швейцария) разработал технологию изготовления кабелей со свинцовой оболочкой. С 1890 г. начинают внедрять пропитанную маслом бумажную изоляцию.

Развитие электрических машин, генераторов вызвало необходимость разработки теплостойкой изоляции. Создаются теплостойкие пропиточные составы и покрытия, композиционные составы для изоляции пластин коллектора машин. В качестве изоляции стали использовать природную слюду (мусковит и флогопит), затем миканиты, микаленты, микафолии, микалексы.

В конце XIX и начале XX вв. создаются новые материалы – синтетические высокомолекулярные соединения с хорошими изоляционными свойствами – полиэтилен, полистирол, винипласт, поливинилхлорид, полиметилметакрилат и др. Позже создаются высокотемпературные полимеры, такие как фторопласты и элементоорганические соединения, сшитый и облученный полиэтилены и др.

Создание электрических генераторов, электродвигателей, трансформаторов требовало изучения свойств материалов: неметаллических, металлических и магнитных, создания их теории.

Первыми в этом направлении были работы профессора Московского университета Александра Григорьевича Столетова (рис. 108). В 80-х гг. им была обнаружена петля гистерезиса и доменная структура у ферромагнитных материалов.

Александр Григорьевич родился в семье небогатого купца, владельца бакалейной лавки и мастерской по выделке кож Григория Михайловича Столетова. Его мать, Александра Васильевна, будучи образованной женщиной, сама готовила своих детей (всего их было шесть) к поступлению в гимназию, обучая их арифметике и русскому языку. Его брат, Николай Григорьевич, стал видным военачальником. Александр в четыре года научился читать и впоследствии проявлял интерес к литературе, выпуская во время учёбы в гимназии рукописный журнал.

Учился Александр Григорьевич во Владимирской гимназии – с 1849 по 1856 гг. По окончании гимназии поступил на физико-математический факультет Московского университета, где обучался у профессора М. Ф. Спасского. Далее, в 1860 г. окончил курс и был оставлен при университете для приготовления к профессорскому званию.

Рис. 108. Александр Григорьевич Столетов (1839-1896 гг.)
(URL: https://ru.wikipedia.org/)

С лета 1862 г. до начала 1866 г. пробыл за границей, занимаясь физикой сначала в Хайдельберге, потом в Гёттингене, Берлине, Париже и наконец опять в Хайдельберге, в лаборатории Кирхгофа. В первой своей научной работе он установил, что диэлектрические свойства среды не влияют на электромагнитное взаимодействие проводников электрического тока; Кирхгоф называл его самым талантливым своим учеником.

С февраля 1866 г. начал в Московском университете чтение лекций по математической физике и физической географии.

В мае 1869 г. защитил магистерскую диссертацию: *«Общая задача электростатики и приведение её к простейшему виду»* – о наведении зарядов на первоначально незаряженном проводнике в присутствии этих зарядов на заряженный проводник и перераспределение зарядов до наступления электрического равновесия. Показал решение задачи для общего случая взаимодействия произвольного числа проводников. С июня 1869 г. – доцент по кафедре физики. В 1870 г. на квартире Столетова еженедельно стал собираться физический кружок.

В 1871 г. Столетов снова отправился за границу, где пробыл около полугода, работая в лаборатории Кирхгофа над докторской диссертацией *«Исследование о функции намагничения мягкого железа»*, которая была защищена в апреле 1872 г. В июне этого же года Столетов был утверждён экстраординарным профессором, а в следующем 1873 г. – ординарным профессором. В 1872 г. по его инициативе и при непосредственном участии была организована первая в России учебно-исследовательская физическая лаборатория. Непрерывно занимаясь своим любимым предметом, физикой, Столетов умел возбудить интерес к этой науке и у своих многочисленных учеников. Большая часть университетских профессоров физики были его учениками. У студентов считался строгим преподавателем; Ф. В. Шлиппе вспоминал: *«Столетов был известен тем, что задавал всякие мудреные вопросы, затем безучастно с каменным лицом глядел на экзаменующегося и безжалостно одного за другим проваливал. Впоследствии был назначен второй экзаменатор, который ставил свою отметку, и среднее пропорциональное двух баллов было действительно»*.

В 1876 г. провёл ряд экспериментов по измерению величины отношения электромагнитных и электростатических единиц и получил значение, близкое к скорости света.

В 1877 г. был награждён орденом Святой Анны 2-й степени, в 1885 г. – орденом Святого Владимира 3-й степени; в 1889 г. – орденом Святого Станислава 1-й степени. В 1882 г. был награждён французским орденом Почётного легиона.

С 1881 г. – действительный статский советник, а в 1882 г. был назначен заведующим кафедрой опытной физики Московского университета.

В 1889 г. опубликовал фундаментальную работу *«Актиноэлектрические исследования»*, в которой дал описание закономерностей фотоэффекта (закон Столетова), ещё не зная о существовании электронов. В 1891 г. получил звание заслуженного профессора Московского университета.

Все работы Столетова как строго научные, так и литературные, отличаются замечательным изяществом мысли и выполнения. Кроме занятий в университете, Столетов немало времени посвятил работе в Обществе любителей естествознания и в музее прикладных знаний. В течение нескольких лет состоял председателем физического отделения Общества любителей естествознания и директором физического отдела при Политехническом музее. Проводя почти каждое лето за границей, Столетов имел возможность познакомиться со всеми выдающимися западноевропейскими физиками, с которыми постоянно поддерживал отношения. Принимал участие и в международных конгрессах; в 1889 г. был избран вице-президентом на Втором международном конгрессе электриков в Париже. Состоял членом многих учёных обществ, как русских, так и иностранных: был почётным членом Общества любителей естествознания, почётным членом Киевского физико-математического общества, почётным членом Киевского общества естествоиспытателей, членом обществ Московского математического, Русского физико-химического, парижского «Société Française de Physique», членом-основателем и корреспондентом парижского «Société internationale des électriciens», иностранным членом лондонского «Institution of Electrical Engineers». Также был почётным членом Императорского университета святого Владимира.

Кроме занятия наукой Столетов интересовался литературой, искусством. В 1893 г. три академика – Чебышёв, Бредихин и Бекетов – рекомендовали Столетова на выдвижение в члены Российской академии наук. Но президент академии великий князь Константин отклонил выдвижение. В следующем году Столетов занимался организацией физической секции на IX съезде естествоиспытателей и врачей, превосходно организовав демонстративные заседания этой секции. В течение года Столетов чувствовал себя ещё довольно

сносно, но с зимы 1895 г. болезнь получила развитие. Скончался А. Г. Столетов 15 (27) мая 1896 г. в Москве от воспаления лёгких; похоронен во Владимире, на Князь-Владимирском (старом) кладбище.

Братья Гопкинсоны разработали теорию электромагнитных цепей.

В 1895 г. Пьер Кюри обнаружил существование у ферромагнетиков критической температуры, выше которой происходит исчезновение доменной структуры и потеря ферромагнетизма (точки Кюри).

В 1904 г. А. М. Настюковым была открыта реакция конденсации нефти с формальдегидом, в результате которой получены неоформолитовые смолы. Исследования Е. И. Орлова (1910 г.) обогатили изоляционную технику новым пластическим материалом, названным карболитом, который был получен в результате конденсации фенолов с формальдегидом.

В конце 1906 г. были изобретены проходные, опорные, подвесные изоляторы на основе керамики, покрытой глазурью, позже эти изоляторы стали изготавливать из электротехнических стекол и специальных пластмасс.

Применение таких изоляторов было необходимо для передачи электрического тока по воздуху на большие расстояния, когда требовалось увеличение напряжения до сотен и тысяч киловольт.

Основными материалами для изготовления изоляторов являются керамические материалы, среди которых ведущее место занимает фарфор. В России этот замечательный материал был создан Д. И. Виноградовым, современником М. В. Ломоносова. В результате многочисленных исследований Д. И. Виноградов получил первые образцы отечественного фарфора (порцелина) и основал первый фарфоровый завод в России «Порцелиновая мануфактура» в 1744 г. До нас дошли 23 рецепта фарфоровых масс и 10 рецептов глазурей, разработанных Д. И. Виноградовым, которого по праву можно считать основоположником производства русского фарфора.

В России до 1917 г. изоляторная промышленность как самостоятельная отрасль не существовала. Электротехнические изделия из фарфора – телефонные и телеграфные изоляторы, ролики, розетки и другие изделия – изготовлялись на заводах, основной продукцией которых являлась фарфоровая посуда. Это заводы в Санкт-Петербурге, Я. Эссена в Риге, Славянске, Бердникова в Житомирской области и другие. Исключение составлял завод С. П. Чоколова (ныне

завод «Изолятор»), основанный в 1894 г. под Москвой и специализировавшийся на выпуске электротехнических изделий из фарфора. Эти заводы выпускали преимущественно электротехнический фарфор для установок низкого напряжения.

В конце XIX в. эти заводы начали выпуск телефонных и телеграфных изоляторов, электроустановочных изделий (роликов, розеток и др.). После Октябрьской революции ряд заводов полностью переходит на изготовление электротехнической продукции: завод Корниловых в Петербурге (завод «Пролетарий»), завод им. Артема в г. Славянске, завод «1 Мая» в Токаревке Житомирской области. Производство электротехнических фарфоровых изделий, несмотря на отсутствие на заводах механизации, достигло значительного совершенства, и высокое мастерство рабочих-керамистов заслуженно и неоднократно отмечалось на всемирных выставках.

Объем отечественного производства электротехнического фарфора не мог удовлетворить спроса развивающейся электротехнической отрасли. Значительная часть потребности в изоляторах низкого напряжения и почти полностью высокого напряжения удовлетворялась ввозом из-за границы.

Одна из первых попыток выпуска отечественных изоляторов высокого напряжения относится к 1906–1907 годам, когда заводом С. П. Чоколова была изготовлена партия штыревых изоляторов на напряжение 6-10 кВ довольно сложной конструкции, имевших три выступающие *«юбки»*. Эти изоляторы были направлены для испытания в Германию в лабораторию завода ГЕШО (Гемсдорф-Шомбург). Все изоляторы выдержали испытания и были рекомендованы к производству. Однако завод С. П. Чоколова не организовал массового выпуска штыревых изоляторов этого типа, что можно объяснить сложностью их конструкции и трудностью конкуренции с иностранными фирмами.

Значительных успехов в выпуске высоковольтных изоляторов добился завод Я. Эссена в Риге. В 1912-1915 гг. этим заводом выпускались изоляторы на напряжение до 20 кВ преимущественно по чертежам германских фирм. В 1915 г. завод Я. Эссена был эвакуирован в г. Славянск, где Я. Эссен купил у фабриканта М. С. Кузнецова посудную фабрику, в корпусах которой было размещено оборудование, вывезенное из Риги.

В годы Первой мировой войны Россия была отрезана от заграничных поставщиков. Для удовлетворения острой потребности в изоляторах высокого напряжения славянский завод, а также некоторые другие предприняли попытки наладить массовый выпуск изоляторов высокого напряжения. Эти попытки не увенчались

успехом ввиду того что заводы не смогли овладеть особенностями обработки электрокерамики и режима сушки и обжига. Кроме того, заводы того времени не располагали испытательным оборудованием высокого напряжения и были лишены возможности корректировать конструкцию и технологию производства изоляторов.

Первые партии изоляторов на напряжение 35 кВ были выпущены по заграничным образцам в 1919-1920 гг. заводом им. М. В. Ломоносова в Петрограде и в 1921 г. Дулевским заводом фарфоровой посуды. Изготовленные по технологии, обычной для производства хозяйственного фарфора, эти изоляторы после установки их на линиях электропередачи через короткий срок выбыли из эксплуатации вследствие массовых пробоев.

Опыт показал, что производство изоляторов высокого напряжения требует специальной технологии. Для этой цели электропромышленности были переданы четыре завода, которые ранее частично выпускали изоляторы и фарфоровые изделия («Изолятор», «Пролетарий», им. Артема и «1 Мая»).

Центральным электротехническим советом (ЦЭС) были утверждены разработанные в 1919 г. Петроградским политехническим институтом под руководством М. А. Шателена первые технические условия на высоковольтные фарфоровые изоляторы.

Большую роль в развитии отечественной керамической промышленности сыграла организация в 1919 г. в Петрограде Государственного научно-исследовательского керамического института.

В 1921 г. по заданию Главэнерго А. А. Горевым были разработаны отечественные конструкции штыревых изоляторов на напряжение 6-35 кВ. Эти изоляторы выпускались заводами «Изолятор» и «Пролетарий» до 1924-1926 гг.

В период 1926-1935 гг. широким фронтом велись работы по реконструкции изоляторных заводов и оснащению их новым оборудованием.

В 1934 году завод «Пролетарий» ввел в эксплуатацию первую туннельную печь непрерывного действия длиной 121 м для обжига электроустановочных изделий. На заводе им. Артема в 1940 г. введены в эксплуатацию печи периодического действия с шестью камерами общей вместимостью 450 $м^3$ и туннельная печь, разработанная в СССР.

В первой половине прошлого века возникает проблема передачи больших токов при относительно малых рабочих напряжениях. Для разрешения этих вопросов надо было уменьшать сопротивление линий электропередачи.

Существенно снизить сопротивление проводников можно путем их глубокого охлаждения. Такие проводники получили название гиперпроводников.

В 1911 г. голландский физик Камерлинг-Оннес открыл явление сверхпроводимости, когда электрическое сопротивление проводников становится равным нулю (обычно при 1-8 К). Несколько десятков лет сверхпроводники не могли применяться на практике, так как нужно было создавать очень низкие температуры для перевода их в сверхпроводящее состояние.

Начиная с 30-х годов XX века большое значение приобрели полимеры, полученные методом полимеризации (полистирол, поливинилхлорид, поливинилацетат, полиметилметакрилат и др.), а 40-е – характеризуются получением поликонденсационных полимеров: кремнийорганических, полиамидных, полиуретановых.

В 1940 г. начинается производство полиэтилена при давлении до 250 МПа – одного из наиболее распространенных в настоящее время полимеров. В 1955 г. К. Циглером (Россия) был разработан метод полимеризации этилена и при низком давлении, который в настоящее время получил весьма широкое распространение. Вслед за этим на основе работ итальянского ученого В. Натта был разработан технологический процесс получения полипропилена.

В 1941-1942 гг. Б. М. Гохберг опубликовал результаты исследования электрофизических характеристик гексафторида серы. Это соединение оказалось наиболее перспективным для изоляции электроустановок и было названо Б. М. Гохбергом элегазом. Само название «элегаз» указывает на то, что это газ, предназначенный для целей электротехники.

Начиная с 50-х годов прошлого века промышленностью выпускаются новые электроизоляционные материалы: стеклопластмассы, стеклолакоткани, синтетические лакоткани, стеклотканиты, фольгированные и асбестовые слоистые материалы, слюдопласты, материалы на основе кремнийорганических, эпоксидно-фенольных и эпоксидно-полиэфирных связующих и др.

Для изоляции различных электротехнических изделий широко применяются эпоксидные смолы. С середины 50-х годов в Советском Союзе промышленностью был создан ряд полимеров, в том числе полиуретаны и эпоксидные смолы. Полиуретаны обладают высокой химо-, масло- и влагостойкостью, прочностью на истирание, эластичностью, адгезией к металлам и хорошими электрическими свойствами. Полимеры на основе полиуретанов используются при изготовлении лаков для эмаль-проводов, заливочных компаундов и лаков для стеклолакотканей.

После 50-х годов XX в. были открыты сплавы (например, ниобия с оловом), которые переходили в состояние сверхпроводимости при более высоких температурах, чем существовавшие до этого.

Сегодня разрабатываются высокотемпературные сверхпроводники. В 1986 г. А. Мюллер (США) и Г. Беднорц (Швейцария) открывают высокотемпературную сверхпроводимость керамических материалов на основе трехвалентной меди с температурой перехода в сверхпроводящее состояние 35 и 78 К.

Совершенствование электрических генераторов, двигателей, трансформаторов требовало изучения свойств металлов, магнитных материалов и создания сплавов с высокими ферромагнитными свойствами. Решению этих задач способствовали работы П. Кюри, А. Г. Столетова, братьев Гопкинсонов, Т. Эдисона и других ученых.

Контрольные вопросы

1. Какой вклад внес М. Фарадей в практику и теорию электромагнетизма?
2. Какой вклад внес в теорию электромагнетизма Дж. К. Максвелл?
3. Перечислите имена ученых, исследователей, практиков, стоявших у истоков практического использования электромагнитной энергии.
4. Назовите имена первых русских ученых и изобретателей, работавших в области гальванопластики, освещения, электротермии.
5. Кто участвовал в разработке первых аккумуляторов электрической энергии?
6. Исследования и работы каких авторов послужили созданию первых электрических машин?
7. Проследите основные этапы создания электродвигателей и назовите авторов разработок.
8. Для каких целей использовались первые электродвигатели и кем?
9. Назовите первых создателей электрических генераторов.
10. Какие конструкции электрогенераторов предлагались изобретателями?
11. Создание каких генераторов позволило передавать электрическую энергию на большие расстояния?
12. Кто разрабатывал многофазные системы переменных токов, какие из них получили широкое распространение?
13. Опишите путь создания трансформаторов разных типов и назовите их авторов.
14. Кто участвовал в разработке и создании электротехнических материалов?
15. Какие материалы использовались в качестве проводников, а какие в качестве изоляторов при изготовлении электроизделий и линий передач?

4. ИСТОРИЧЕСКИЕ ВЕХИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

4.1. История развития электростанций постоянного и переменного однофазного тока

Электрические станции, обеспечивающие электроэнергией ограниченное число потребителей, получили название блок-станций или так называемых *«домовых»*.

Повсеместное внедрение первых электростанций было сопряжено не только с развитием науки, но и с трудностями волюнтаристского и конъюнктурного характера. Так, городские власти запрещали строительство воздушных линий, опасаясь причинить вред как внешнему виду города, так и самим горожанам. Конкурирующие газовые компании всячески подчеркивали существующие и мнимые недостатки нового вида освещения.

Первые блок-станции были построены в Париже для питания свечей Яблочкова, установленных на улице Оперы. В России первой установкой такого рода явилась станция для освещения Литейного моста в Петербурге, созданная в 1879 г. при участии П. Н. Яблочкова. Позднее, с конца 1881 г., возникли блок-станции, в сети которых включались как дуговые лампы, так и лампы накаливания.

В 1881 г. несколько предприимчивых американских финансистов под впечатлением успеха, которым сопровождалась демонстрация ламп накаливания, заключили соглашение с Т. А. Эдисоном и приступили к сооружению первой в мире центральной электростанции (на Пирльстрит в Нью Йорке). В сентябре 1882 г. эта электростанция была сдана в эксплуатацию. В машинном зале станции было установлено шесть генераторов Т. А. Эдисона, мощность каждого составляла около 90 кВт, а общая мощность электростанции превышала 500 кВт. Здание станции и ее оборудование были спроектированы весьма целесообразно, так что в дальнейшем при строительстве новых электростанций развивались многие из тех принципов, которые были предложены Т. А. Эдисоном. Так, генераторы станций имели искусственное охлаждение и соединялись непосредственно с двигателем. Напряжение регулировалось автоматически. На станции осуществлялись механическая подача топлива в котельную и автоматическое удаление золы и шлака. Защита оборудования от токов короткого замыкания осуществлялась

плавкими предохранителями, а магистральные линии были кабельными. Станция снабжала электроэнергией обширный по тому времени район площадью 2,5 км.

Вскоре в Нью Йорке было построено еще несколько станций. В 1887 г. работали уже 57 центральных электростанций системы Т. А. Эдисона. Исходное напряжение первых электростанций, от которого впоследствии были произведены другие, образующие известную шкалу напряжений, сложилось исторически. Дело в том, что в период исключительного распространения дугового электрического освещения эмпирически было установлено, что наиболее подходящим для горения дуги является напряжение 45 В. Чтобы уменьшить токи короткого замыкания, которые возникали в момент зажигания ламп (при соприкосновении углей), и для более устойчивого горения дуги включали последовательно с дуговой лампой балластный резистор.

Также эмпирически было найдено, что сопротивление балластного резистора должно быть таким, чтобы падение напряжения на нем при нормальной работе составляло примерно 20 В. Таким образом, общее напряжение в установках постоянного тока сначала составляло 65 В, и это напряжение применялось долгое время. Однако часто в одну цепь включали две другие лампы, для работы которых требовалось $2 \times 45 = 90$ В, а если к этому напряжению прибавить еще 20 В, приходящиеся на сопротивление балластного резистора, то получится напряжение 110 В. Это напряжение почти повсеместно было принято в качестве стандартного.

Уже при проектировании первых центральных электростанций столкнулись с трудностями, которые в достаточной степени не были преодолены в течение всего периода господства техники постоянного тока. Радиус электроснабжения определяется допустимыми потерями напряжения в электрической сети, которые для данной сети тем меньше, чем выше напряжение. Именно это обстоятельство заставило строить электростанции в центральных районах города, что существенно затрудняло не только обеспечение водой и топливом, но и удорожало стоимость земельных участков для строительства электростанций, так как земля в центре города была чрезвычайно дорога. Этим, в частности, и объясняется необычный вид ньюйоркских электростанций, на которых оборудование располагалось на многих этажах. Положение осложнялось еще тем, что на первых электростанциях приходилось размещать большое количество котлов, паропроизводительность которых не соответствовала новым требованиям, предъявленным электроэнергетикой.

В 1886 г. в Петербурге было учреждено акционерное «Общество электрического освещения 1886 г.», которое приобрело станции на реках Мойке и Фонтанке и построило дополнительно еще две станции: у Казанского собора и на Инженерной площади. Мощность каждой из этих электростанций едва превышала 200 кВт.

В Москве первая центральная электростанция мощностью более 400 кВт была построена в 1886 г. в центре города, на углу большой Димитровки и Георгиевского переулка (рис. 109), на которой применялись паровые жаротрубные котлы системы Шухова, основным топливом служил каменный уголь, а ее энергия использовалась для освещения прилегающего района.

Рис. 109. Первая электростанция Общества электрического освещения в Москве
(угол Георгиевского переулка и Большой Дмитровки)
(URL: http://energymuseum.ru/docs/)

На центральных станциях с ростом мощностей локомобили, применявшиеся в качестве первичных двигателей блок-станций, постепенно вытеснялись стационарными машинами. Мощность этих машин составляла 100-300 л.с., скорость вращения вала была относительно невелика – 100-200 об./мин, что привело к необходимости ввести между машиной и генератором ременную или канатную передачу.

Ограниченные возможности расширения радиуса электроснабжения привели к тому, что удовлетворить спрос на электроэнергию со временем становилось все труднее. Так, в Петербурге и Москве к середине 90-х гг. возможности присоединения новой нагрузки к существующим электростанциям были исчерпаны и встал вопрос об изменении схем сети или даже об изменении рода тока.

Рост потребностей в электроэнергии эффективно стимулировал повышение производительности и экономичности тепловой части электрических станций. Прежде всего следует отметить решительный поворот от поршневых паровых машин к паровым турбинам. Первая турбина на электростанциях России была установлена в 1891 году в Петербурге (станция на р. Фонтанке). За год до этого испытание турбины было проведено на станции, расположенной на р. Мойке. Выше уже отмечался наиболее существенный недостаток электроснабжения постоянным током – слишком малая площадь района, которая может обслуживаться центральной электростанцией. Удаленность нагрузки не превышала нескольких сотен метров. Электростанции стремились расширить круг потребителей своего товара – электроэнергии. Этим объясняются настойчивые поиски путей увеличения площади электроснабжения при условии сохранения уже построенных станций постоянного тока. Было предложено несколько идей, как увеличить радиус распределения энергии.

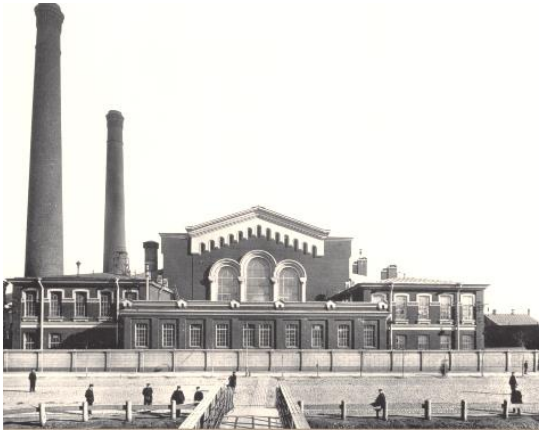


Рис. 110. Центральная электростанция «Общества электрического освещения 1886 г.» в Санкт-Петербурге, построенная в 1898 г.
(URL: http://energetika.in.ua/ru/)

Первая идея, не получившая заметного распространения, касалась понижения напряжения электрических ламп, подключавшихся в конце линии. Однако расчеты показали, что при протяженности сети более 1,5 км экономически выгоднее было построить новую электростанцию.

Другое решение, которое могло во многих случаях удовлетворить потребность, состояло в изменении схемы сети: переходе от двухпроводных сетей к многопроводным, т.е. фактически к повышению напряжения.

В конце XIX и начале XX вв. преимущественное распространение в котельных зарубежных электростанций получили котлы Бабкок-Вилькокс, а в России – котлы системы Шухова.

Рост потребности в электроэнергии эффективно стимулировал повышение производительности и экономичности тепловой части электрической машины. Прежде всего следует отметить переход от поршневых паровых машин к паровым турбинам. Первая паровая турбина на электростанциях России была установлена в 1891 году.

Электростанции постоянно стремились расширить круг потребителей для своего товара – электроэнергии.

В связи с этим в 1882 г. была предложена Дж. Гопкинсоном и не зависимо от него Т. Эдисоном трехпроводная система распределения электроэнергии. При этой системе генераторы на электростанции соединялись последовательно, а от средней точки шел нейтральный или компенсационный провод. Для регулирования напряжения в ветвях трехпроводной сети применялись различные устройства: регулировочные дополнительные генераторы, делители напряжения, в частности, получившие значительное распространение делители напряжения Доливо-Добровольского, аккумуляторные батареи. Трехпроводная система широко применялась как за рубежом, так и в России.

Практическими результатами введения трехпроводной системы явилось, во-первых, увеличение радиуса электроснабжения примерно до 1200 м, во-вторых, относительная экономия меди (при всех прочих одинаковых условиях расход меди при трехпроводной системе был практически вдвое меньше, чем при двухпроводной).

Максимальный вариант многопроводных систем – пятипроводная сеть постоянного тока, в которой применялись четыре последовательно включенных генератора и вследствие этого напряжение увеличивалось вчетверо. Экономия повышалась, а радиус действия увеличивался до 1500 м.

Увеличить радиус электроснабжения также предполагалось за счет сооружения аккумуляторных подстанций. Аккумуляторные батареи были в то время обязательным дополнением каждой электростанции. Они покрывали пики нагрузок. Заряжаясь в дневные и поздние ночные часы, они служили резервом.

Сети с аккумуляторными подстанциями получили некоторое распространение. В Москве, например, в 1892 г. была построена аккумуляторная подстанция в Верхних торговых рядах (ныне ГУМ), находившаяся на расстоянии 1385 м от Георгиевской центральной станции. На этой подстанции были установлены аккумуляторы, питавшие около 2000 ламп накаливания.

В последние два десятилетия XIX в. было построено много электростанций постоянного тока, и они долгое время давали значительную долю общей выработки электроэнергии. Мощность таких электростанций редко превышала 500 кВт, агрегаты обычно имели мощность до 100 кВт.

Все возможности увеличения радиуса электроснабжения при постоянном токе довольно быстро были исчерпаны, особенно в крупных городах.

В 80-х гг. XIX в. начинают сооружаться электростанции переменного тока, выгодность которых для увеличения радиуса электроснабжения была бесспорной. Если не считать блок станций переменного тока, построенных в Англии в 1882-1883 гг., то, по-видимому, первой постоянно действовавшей электростанцией переменного тока можно считать электростанцию Гровнерской галереи (Лондон). На этой станции, пущенной в эксплуатацию в 1884 г., были установлены два генератора переменного тока В. Сименса, которые через последовательно включенные трансформаторы Дж. Д. Голяра и Л. Гиббса работали на освещение галереи. Недостатки последовательного включения трансформаторов и, в частности, трудности поддержания постоянства тока были выявлены довольно быстро, и в 1886 г. эта станция была реконструирована по проекту С. Ц. Ферранти. Генераторы В. Сименса были заменены машинами конструкции С. Ц. Ферранти мощностью 1000 кВт каждая с напряжением на зажимах 2,5 кВ. Трансформаторы, изготовленные по проекту С. Ц. Ферранти, включались в цепь параллельно и служили для снижения напряжения в непосредственной близости от потребителей.

В 1889-1890 гг. С. Ц. Ферранти вновь вернулся к проблеме электроснабжения Лондона с целью обеспечения электроэнергией района лондонского Сити. В связи с высокой стоимостью земельного участка в центре города было решено построить электростанцию в одном из предместий Лондона, в Дептфорде, находящемся в 12 км от Сити. Очевидно, на таком большом расстоянии от места потребления электроэнергии электростанция должна была вырабатывать переменный ток. При сооружении этой установки были применены мощные по тому времени генераторы высокого напряжения (10 кВ) мощностью по 1000 л.с. Общая мощность Дептфордской электростанции составляла около 3000 кВт. На четырех городских подстанциях, питавшихся по четырем магистральным кабельным линиям, напряжение понижалось до 2400 В, а затем уже у потребителей (в домах) – до 100 В.

Примером крупной гидростанции, питавшей осветительную нагрузку в однофазной цепи, может служить станция, построенная в 1889 году на водопаде вблизи г. Портленда (США). На этой станции гидравлические двигатели приводили в действие восемь однофазных генераторов общей мощностью 720 кВт. Кроме того, на электростанции были установлены 11 генераторов, предназначенных специально для питания дуговых ламп (по 100 ламп на каждый генератор). Энергия этой станции передавалась на расстояние 14 миль в г. Портленд.

Характерная особенность первых электростанций переменного тока – изолированная работа отдельных машин. Синхронизация генераторов еще не производилась, и от каждой машины шла отдельная цепь к потребителям. Легко понять, насколько неэкономичными при таких условиях оказались электрические сети, на сооружение которых расходовались колоссальные количества меди и изоляторов.

В России крупнейшие станции переменного тока были сооружены в конце 80-х и начале 90-х гг. XIX в. Первая центральная электростанция построена венгерской фирмой «Ганц и К°» в г. Одессе в 1887 г. Основным потребителем энергии была однофазная система электрического освещения нового театра. Эта электростанция представляла собой для своего времени прогрессивное сооружение. Она имела четыре водотрубных котла общей производительностью 5 т пара в час, а также два синхронных генератора общей мощностью 160 кВт при напряжении на зажимах 2 кВ и частоте 50 Гц. От распределительного щита энергия поступала в линию длиной 2,5 км, ведущую к трансформаторной подстанции театра, где напряжение понижалось до 65 В (на которое были рассчитаны лампы накаливания). Оборудование электростанции было столь совершенным для своего времени, что, несмотря на то что топливом служил привозной английский уголь, стоимость электроэнергии была ниже, чем на более поздних петербургских и московских электростанциях. Расход топлива составлял 3,4 кг/(кВт·ч), а на петербургских электростанциях – 3,9-5,4 кг/(кВт·ч).

В том же году началась эксплуатация электростанции постоянного тока в Царском Селе (ныне г. Пушкин). Протяженность воздушной сети в Царском Селе уже в 1887 году была около 64 км, тогда как два года спустя суммарная кабельная сеть «Общества 1886 г.» в Москве и Петербурге составляла только 115 км. В 1890 г. Царскосельская электростанция и сеть были реконструированы и переведены на однофазную систему переменного тока напряжением 2 кВ. По свидетельству современников, Царское Село

было первым городом в Европе, который был освещен исключительно электричеством.

Крупнейшей в России электростанцией для снабжения однофазной системы переменного тока была станция на Васильевском острове в Петербурге, построенная в 1894 г. инженером Н.В. Смирновым. Мощность ее составляла 800 кВт и превосходила мощность любой существовавшей в то время станции постоянного тока. В качестве первичных двигателей использовались четыре вертикальные паровые машины мощностью 250 л.с. каждая. Применение переменного напряжения 2000 В позволило упростить и удешевить электрическую сеть и увеличить радиус электроснабжения (более 2 км при потере до 3% напряжения в магистральных проводах вместо 17-20% в сетях постоянного тока). Таким образом, опыт эксплуатации центральных станций и однофазных сетей показал преимущества переменного тока, но вместе с тем, как уже отмечалось, выявил ограниченность его применения. Однофазная система тормозила развитие электропривода, усложняла его. Так, например, при подключении силовой нагрузки к сети Дептфордской станции приходилось дополнительно помещать на валу каждого синхронного однофазного двигателя еще разгонный коллекторный двигатель переменного тока. Легко понять, что такое усложнение электропривода делало весьма сомнительной возможность его широкого применения.

4.2. История развития линий электропередач постоянного и переменного тока

Проблема передачи энергии на расстояние возникла задолго до того, как были построены первые электростанции. Но особенно актуальной она стала в связи со строительством крупных промышленных предприятий, на которых приводились в действие несколько исполнительных механизмов от одного двигателя.

Возникли способы механической передачи (штанги, тяги и канаты), а затем получили распространение различные способы передачи механической энергии посредством систем приводных ремней и канатов, так называемые передачи с гибкой связью, которые применяются до сих пор.

Опыты использования электромагнитного телеграфа неизбежно привели к мыслям о возможности передачи по проводам более значительного количества электрической энергии. Уже в 40-50-х гг. XIX в. в США, Италии и других странах высказываются

идеи о создании электрической железной дороги с передачей энергии на расстояние. Однако всеобщую известность получили опыты французского электрика И. Фонтена.

Уместно отметить, что международные и национальные выставки сыграли исключительно большую роль в пропаганде научно-технических знаний и, следовательно, в научно-техническом прогрессе общества. Первая промышленно-художественная выставка состоялась в Лондоне в 1756 г., на которой основное место занимали вестники промышленного переворота – текстильные машины. В России первая выставка отечественной промышленности была проведена в 1829 г. в Петербурге, здесь же была открыта в марте 1880 г. первая в мире электротехническая выставка. А первая международная электротехническая выставка была проведена в 1881 г. в Париже.

В 1873 г. в Вене состоялась международная выставка, с которой и начинается история электропередачи. На Венской международной выставке И. Фонтен продемонстрировал обратимость электрических машин. Есть различные версии, объясняющие причину, побудившую Фонтена включить между генератором и двигателем барабан с кабелем длиной более километра. По одной из них он стремился уменьшить мощность двигателя, приводившего в действие насос искусственного декоративного водопада, так как вода выплескивалась за пределы бассейна. Этим опытом была продемонстрирована реальная возможность передачи электроэнергии на расстояние, несмотря на то, что вначале это был всего один километр.

Вместе с тем сам Фонтен не был убежден в экономической целесообразности электропередачи, так как при включении соединительного кабеля он получил значительное снижение мощности двигателя, то есть большие потери электрической энергии в кабеле.

Потери в линии зависят от напряжения, удельного сопротивления провода и его сечения. Снижение удельного сопротивления проводов практически неосуществимо, так как медь, ставшая основным материалом для изготовления проводов, имеет предельно малое удельное сопротивление.

Лишь в настоящее время ведутся теоретические и экспериментальные работы по снижению сопротивления линий электропередач с использованием явления сверхпроводимости, так называемые криогенные линии электропередачи. Поэтому в то время имелись только два пути для снижения потерь в линии: увеличение сечения проводов или повышение напряжения.

В 70-х годах был исследован первый вариант, так как увеличение сечения проводников представлялось мероприятием, по-видимому, более естественным и технически легче осуществимым по сравнению с повышением напряжения. В 1874 г. русский военный инженер Ф. А. Пироцкий пришел к выводу об экономической целесообразности производства электрической энергии в местах, где она может быть дешево получена благодаря наличию топлива или гидравлической энергии, и передачи ее по линии к более или менее отдаленному месту потребления. В том же году он приступил к опытам передачи энергии на артиллерийском полигоне Волкова поля около Петербурга, используя электрическую машину Грамма. Дальность передачи в опытах Пироцкого составляла сначала более 200 м, а затем была увеличена примерно до 1 км.

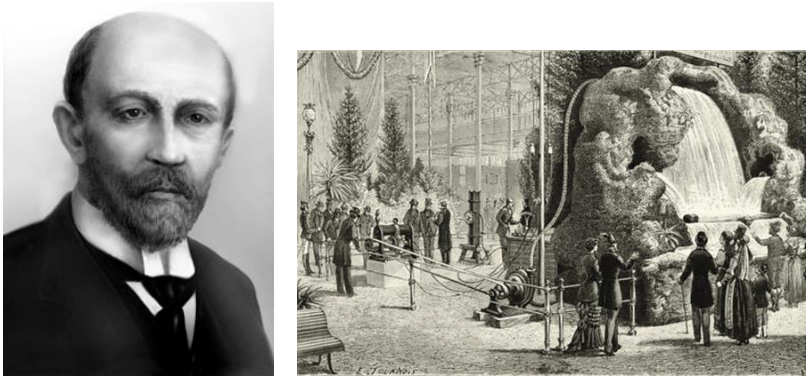
Для уменьшения потерь в линии Ф. А. Пироцкий предлагал использовать в качестве проводников железнодорожные рельсы, сечение которых более чем в 600 раз превышало сечение обыкновенного телеграфного провода. Стремясь проверить свои выводы, он в конце 1875 г. провел опыты передачи электроэнергии по рельсам бездействующей ветки Сестрорецкой дороги длиной около 3,5 км. Оба рельса изолировались от земли, один из них служил прямым, второй – обратным проводом. Электрическая энергия передавалась от небольшого генератора Грамма к электродвигателю, удаленному на расстояние до 1 км.

Необходимо отметить, что Ф. А. Пироцкий был не единственным электротехником, ставшим на путь увеличения сечения проводов. Так, например, В. Сименс, посетив в 1876 г. Ниагарский водопад, сумел правильно оценить энергетические возможности его использования, но утверждал, что для передачи электроэнергии, выработанной у водопада, на расстояние 50 км потребуется проводник диаметром 75 мм. Подобные выводы являлись наглядным подтверждением существовавшего уровня знаний в области электротехники в 70-х годах XIX века.

Несмотря на нерациональность практического направления, избранного Пироцким, его опыты привлекли внимание к вопросам электропередачи вообще и вызвали ряд новых исследований, позволивших выявить правильный путь для решения этой проблемы. Предложение Ф. А. Пироцкого об использовании железнодорожных рельсов для передачи электрической энергии на расстояние нашло свое применение при разработке первых проектов городских электрических железных дорог.

Другой вариант решения проблемы передачи электрической энергии, основанный на повышении напряжения, длительное время

осмысливался теоретически. Здесь было возможно исследование классической задачи из теории цепей о передаче энергии от источника к нагрузке, выполненное в 1877 г. французским академиком Э. Маскарром, но не доведенное до четко сформулированных практических выводов. Наиболее обстоятельное исследование этого вопроса выполнили в 1880 году независимо друг от друга французский инженер, а впоследствии академик, Марсель Депре (рис. 111, *а*) и профессор физики Петербургского лесного института Д. А. Лачинов.



а *б*

Рис. 111. Марсель Депре (1843-1918 гг.) (а) и насос для искусственного водопада (б)
(URL: https://controlengrussia.com/retrospektiva/marcel-deprez/)

В 1882 г. Депре построил первую линию электропередачи Мисбах – Мюнхен протяженностью 57 км. На одном конце опытной линии в Мисбахе была установлена паровая машина, приводившая в действие генератор постоянного тока мощностью 3 л.с., дававший ток напряжением 1,5-2 кВ. Энергия передавалась по стальным телеграфным проводам на территорию выставки в Мюнхене, где была установлена такая же машина, работавшая в режиме электродвигателя и приводившая в действие насос для искусственного водопада (рис. 111, *б*). Хотя этот этап решения проблемы и не дал достаточно благоприятных технических результатов, так как КПД передачи не превосходил 25%, его значение нельзя было недооценивать: электропередача Мисбах – Мюнхен явилась отправным пунктом для дальнейших работ по развитию методов и средств передачи электроэнергии на расстояние.

Следует обратить внимание на любопытный факт. Теория телеграфных линий в то время была разработана достаточно хорошо,

и было известно, что наибольший эффект в работе устройства достигается тогда, когда его сопротивление вместе с сопротивлением соединительных проводов равно внутреннему сопротивлению источника энергии, так называемый согласованный режим работы. Но при этом КПД всей установки составляет 50%. Иными словами, режим передачи наибольшей мощности от источника к нагрузке соответствует коэффициенту полезного действия, равному лишь 0,5.

Но то, что целесообразно для «слаботочной» техники, становится нецелесообразно для «сильноточной», то есть энергетической техники. В последнем случае важен экономический эффект, и КПД следует всемерно повышать даже в ущерб количеству передаваемой энергии. Это обстоятельство длительное время было труднодоступным для понимания, и многие даже крупные специалисты, в том числе Фонтен, а позднее Феррарис и другие исследователи, теряли перспективу в научно-технических поисках и порой прекращали работу лишь потому, что не смогли освободиться от привычных рамок теории слаботочных цепей.

В 1885 г. Депре были произведены опыты еще в большем масштабе – передача энергии на расстояние 56 км между Крейлем и Парижем. В качестве генераторов постоянного тока высокого напряжения использовались специально построенные машины, которые вырабатывали напряжение около 6 кВ. Вес такой машины был около 70 т, мощность – около 50 л.с., а КПД – около 45%. Наряду с установками для передачи электрической энергии на расстояние в эти годы были осуществлены единичные установки передачи электроэнергии для промышленного пользования (КПД до 75%).

Тем не менее, попытки решить проблему электропередачи на постоянном токе, осуществленные в 80-х годах, не принесли желаемых результатов. При этом важно подчеркнуть возникшие противоречия. С одной стороны, практика проектирования и производства электрических машин и аппаратов постоянного тока получила уже значительное историческое развитие, двигатели постоянного тока обладали хорошими рабочими характеристиками, отвечавшими большинству требований промышленности. Но, с другой стороны, широкая электрификация промышленности могла бы быть осуществлена в больших масштабах только при централизованном производстве электроэнергии и, следовательно, только при обеспечении передачи электроэнергии на незначительное расстояние. Однако для передачи требовалось получить высокое напряжение, а технические возможности того времени не позволяли строить генераторы постоянного высокого напряжения, примером чего могут

служить машины Депре, которые часто выходили из строя из-за порчи изоляции. Вообще говоря, в любом случае передача энергии при напряжении генератора ограничена сравнительно низкими пределами. Кроме того, электроэнергию постоянного высокого напряжения использовать было опасно: нужно было строить двигатель-генераторную установку для преобразования высокого напряжения в низкое.

Еще один вариант практического использования постоянного тока для передачи электрической энергии был намечен в основополагающей работе Д. А. Лачинова: он предлагал для повышения напряжения соединить последовательно несколько машин на каждом конце линии. В этом случае каждая в отдельности машина могла быть рассчитана на более низкое напряжение, а следовательно, была бы более надежной. Фонтен первым реализовал практически эту идею, осуществив в 1886 году передачу, в которой со стороны генератора работали четыре последовательно соединенные машины (по 1500 В), то есть получил те же 6 кВ, что и Депре, а со стороны приемника – три двигателя на суммарную мощность около 50 л.с. Двигатели могли использоваться непосредственно для привода исполнительных механизмов: вращать валы генераторов низкого напряжения, пригодного для целей освещения. КПД этой установки Фонтена достиг значений 52%. Позднее эта идея о последовательном включении генераторов была развита в электропередачах по системе Р. Тюри.

Трудности, связанные с электропередачей на постоянном токе, направили мысли ученых и исследователей на разработку технических средств переменного тока (генераторы, трансформаторы), после появления которых начались попытки осуществить промышленную передачу электроэнергии на переменном токе. В 1883 г. Л. Голяр осуществил передачу мощности 20 л.с. на расстояние 23 км для питания осветительных установок Лондонского метрополитена. Трансформаторы повышали напряжение до 1500 В. На Туринской выставке в следующем году Голяр осуществил передачу мощности примерно 40 л.с. на 40 км при напряжении 2000 В.

Однако во второй половине 80-х годов уже возникла задача включения в сеть электростанций силовой нагрузки. Таким образом, и при передаче электроэнергии однофазным переменным током снова возникло противоречие, не менее серьезное, чем при электропередаче постоянным током. Напряжение однофазного переменного тока можно легко повышать и понижать с помощью трансформаторов практически в любых желаемых пределах. Но однофазные двигатели переменного тока имели совершенно

не приемлемые для практического применения характеристики, в частности, они, как было уже сказано, либо вообще не имели пускового момента (синхронные двигатели), либо пускались с очень большим трудом из-за тяжелых условий коммутации тока (коллекторные двигатели). Поэтому сфера применения однофазного тока была ограничена исключительно электрическим освещением, что, конечно, не могло удовлетворить требования интенсивно развивающейся промышленности.

4.3. История развития трехфазной системы тока

В то время как в Америке Тесла и его сотрудники продолжали усовершенствовать двухфазную систему, в Европе была разработана более совершенная электрическая система – трехфазная. Немецкий инженер Ф. Хальзенвандер подошел к трехфазной системе с тех позиций, что коллектор у генератора и двигателя постоянного тока выполняет взаимообратные функции, и решил его устранить. Однако Хальзенвандер не сумел увидеть всех возможностей новой системы и создать пригодные для практического применения конструкции машин.

Наибольших успехов в развитии многофазных систем добился, как ранее уже говорилось, М. О. Доливо-Добровольский, который по праву считается основоположником трехфазной техники. *«Я тотчас сказал себе,* – вспоминал позднее Доливо-Добровольский, – *что если сделать вращающееся поле по методу Феррариса и поместить в него такой короткозамкнутый якорь малого сопротивления, то этот якорь скорее сам сгорит, чем будет вращаться с небольшим числом оборотов. Мысленно я прямо представил себе электродвигатель многофазного тока с ничтожным скольжением»*. Так Доливо-Добровольский пришел к выводу о нецелесообразности изготовления обмотки ротора с таким небольшим сопротивлением, при котором ротор имел бы скорость скольжения около 50%. Первым шагом Доливо-Добровольского было изобретение ротора с обмоткой в виде беличьей клетки. Патент, заявленный в 1889 г., закрепил за Доливо-Добровольским изобретение ротора с беличьей клеткой, то есть конструкцией ротора, которая принципиально сохранилась в том же виде и до нашего времени.

Важнейшим этапом в трудах Доливо-Добровольского явилась замена двухфазной системы трехфазной. В результате исследования различных схем обмоток он сделал ответвление от трех равностоящих различных точек якоря машин постоянного тока. Таким

образом были получены токи с разностью фаз 120°. Сохранив в этой машине коллектор, можно было использовать ее в качестве одноякорного преобразователя.

Таким путем была найдена связанная трехфазная система, которая отличается тем, что требует для передачи и распределения электроэнергии только три провода.

Дальнейшее увеличение числа фаз привело бы к некоторому улучшению использования электрических машин, но вызывало соответствующее увеличение числа линейных проводов. Таким образом, трехфазная система электрических токов показалась изобретателям оптимальной.

Весной 1889 г. был построен первый трехфазный асинхронный электродвигатель мощностью около 100 Вт. Этот двигатель питался током от трехфазного одноякорного преобразователя и при испытании показал вполне удовлетворительные результаты.

Важное достижение Доливо-Добровольского – отказ от исполнения электродвигателя с выступающими полюсами и распределение обмотки статора по всей его окружности, благодаря чему значительно уменьшилось магнитное рассеяние по сравнению с двигателями Тесла. Доливо-Добровольский внес еще одно существенное усовершенствование: кольцевой тип обмотки статора был заменен барабанным. После этого асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором мощностью примерно 3,7 кВт при первом же испытании ухудшил пусковые свойства. Причина этого заключалась в том, что короткозамкнутый ротор был «слишком замкнут накоротко». Анализ возникновения затруднений привел к созданию так называемого фазного ротора, обмотка которого делается подобно обмотке статора трехфазной и концы которой соединяются с тремя концами, насаженными на вал (рис. 112).

Но фазный ротор требовал обустройства на валу двигателя контактных колец, а это рассматривалось многими электротехниками как недостаток по сравнению с короткозамкнутым ротором, не имевшим никаких трущихся контактов. Однако с этим недостатком пришлось смириться, и до настоящего времени такие двигатели применяются в промышленности.

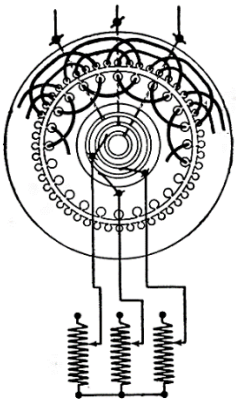


Рис. 112. Трехфазный асинхронный двигатель М. О. Доливо-Добровольского с фазным ротором и пусковым реостатом
(URL: http://gagago.ru/)

Генеральным испытанием трехфазной системы явилась Лауфен-Франкфуртская экспериментальная электропередача. Этот выдающийся для своего времени эксперимент был приурочен к Международной электротехнической выставке и Международному конгрессу электротехников, которые проводились во Франкфурте-на-Майне (Германия).

Организаторы Франкфуртской выставки по инициативе видного немецкого ученого-электротехника О. Фон Миллера предложили фирме АЕГ, в которой в то время работал Доливо-Добровольский, передать посредством электричества энергию водопада на реке Неккор, близ местечка Лауфен, на территории выставки во Франкфурт. Расстояние между этими двумя пунктами составляло 170 км. В Лауфене в распоряжение экспериментаторов выделялась турбина, дававшая полезную мощность около 300 л.с.

До этого времени дальность электропередач, не считая нескольких опытных установок, не превышала 15 км, и многие компетентные специалисты полагали, что КПД установки может оказаться ниже 50%.

В августе 1891 г. на выставке впервые зажглись 1000 ламп накаливания, питаемых током от Лауфенской гидростанции, а 12 сентября того же года двигатель Доливо-Добровольского привел в действие декоративный водопад. Налицо была своеобразная энергетическая цепь: небольшой искусственный водопад приводился в действие энергией естественного водопада, удаленного от первого на 170 км. Это символизировало большую победу человечества над

природой. Проблема передачи энергии на большие расстояния была решена.

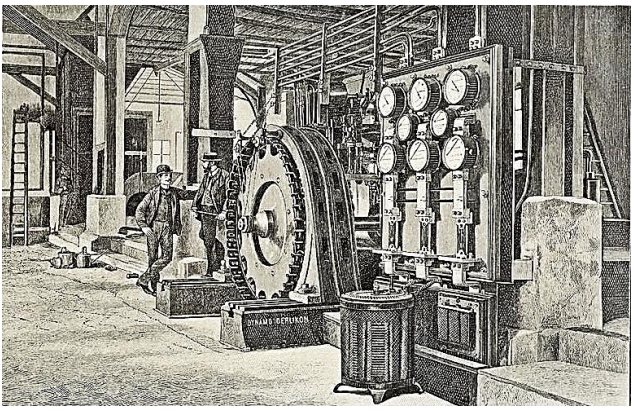
Что же собой представляла эта первая трехфазная линия в то время?

На ГЭС в Лауфене энергия, развиваемая турбиной, передавалась через коническую зубчатую передачу на вал трехфазного синхронного генератора (мощность – 230 кВА, частота вращения – 150 об./мин, напряжение – 0,5 кВ, соединение обмоток – «звезда»). От генератора медные шины вели к распределительному щиту, в котором были установлены амперметры и вольтметры, свинцовые предохранители и максимально-минимальные реле, воздействовавшие на цепь возбуждения (рис. 113, *а*).

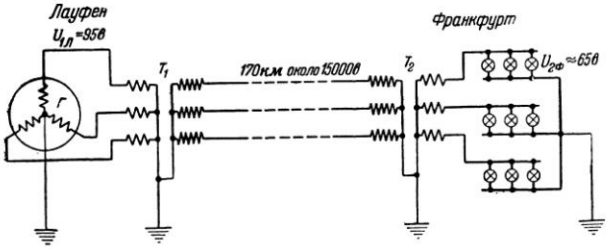
В Лауфене и Франкфурте находилось по три трехфазных трансформатора с призматической формой магнитопровода. В начале испытаний на каждом конце линии было включено по одному трансформатору мощностью 150 кВА каждый с коэффициентом трансформации 154 в Лауфене и 116 во Франкфурте. Поскольку приборов для измерения высокого напряжения не было, величину вторичного напряжения определили простым умножением первичного напряжения на коэффициент трансформации. Сами трансформаторы были погружены в баки, наполненные маслом.

Трехпроводная линия была смонтирована на деревянных опорах со средним пролетом около 60 м. Медный провод диаметром 4 мм крепился на штыревых фарфорово-масляных изоляторах. Интересной деталью линии являлось устройство плавких предохранителей со стороны высокого напряжения. В начале линии в разрыв каждого провода был включен участок длиной 2,5 м, состоявший из двух медных проволок диаметром 0,15 мм каждая. Для отключения линии во Франкфурте посредством простого приспособления устраивалось трехфазное короткое замыкание, плавкие вставки перегорали, турбина начинала развивать большую скорость, и машинист, заметив это, останавливал ее.

На выставочной площади во Франкфурте был установлен понижающий трансформатор, от которого при напряжении 65 В питались 1000 ламп накаливания, расположенных на одном щите. Здесь же был установлен трехфазный асинхронный двигатель Доливо-Добровольского, приводящий в действие гидравлический насос мощностью 100 л.с. Одновременно с этим мощным двигателем Доливо-Добровольский экспонировал асинхронный трехфазный двигатель мощностью около 100 Вт с вентилятором на его валу, а также двигатель мощностью 1,5 кВт с сидящим на его валу генератором постоянного тока, который питал лампы накаливания.



а



б

Рис. 113. В генераторном зале на ГЭС в Лауфене (а) и схема Лауфен-Франкфуртской электропередачи (б):
Г – трехфазный синхронный генератор; T_1 и T_2 – трехфазные трансформаторы
(URL: http://energobar.livejournal.com/; http://gagago.ru/)

Испытания электропередачи, которые осуществлялись международной комиссией, дали следующие результаты: минимальный КПД электропередачи, который определялся как отношение мощности на вторичных зажимах трансформатора во Франкфурте к мощности на валу турбины в Лауфене – 68,5%, максимальный КПД – 75,2%, линейное напряжение при испытаниях составляло около 15 кВ.

Электропередача Лауфен – Франкфурт подвела итог исследованиям в области многофазных токов. Трехфазная система была блестяще продемонстрирована представителям многих стран мира и из всех возможных многофазных систем выбор был сделан в ее пользу. Результаты Лауфен-Франкфуртской передачи открыли этому роду тока широкий путь в промышленность.

Создав трехфазную систему передачи электроэнергии, М. О. Доливо-Добровольский дал оценку и положительных ее

свойств и недостатков. Он первый показал, что при увеличении длины линий и напряжения возрастают емкостные токи, которые при длине линии 350-500 км трудно компенсировать. В 1918 г. за год до смерти М. О. Доливо-Добровольский выступил с докладом *«О границах применения переменных токов для передачи энергии на большие расстояния»*, в котором определил предельное напряжение линий – не более 200 кВ. Практика все же внесла коррективы в значение предельного напряжения, но, как и предсказывал ученый, при увеличении напряжения и длины линий приходится переходить к передачам на постоянном токе.

Создание трехфазной системы – важнейший этап в развитии электротехники и электрификации. После закрытия Франкфуртской выставки электростанция в Лауфене перешла в собственность г. Хейльбронна, расположенного в 12 км от Лауфена и была пущена в эксплуатацию в начале 1892 г. На ней работали два одинаковых трехфазных синхронных генератора. Напряжение (фазное) при помощи трансформаторов повышалось с 50 до 5000 В. Электроэнергия использовалась для питания всей городской осветительной сети, а также ряда небольших заводов и мастерских. Понижающие трансформаторы устанавливались непосредственно у потребителей.

В том же 1892 г. была сдана в эксплуатацию линия Бюлах – Эрликон (Швейцария). У водопада в г. Бюлахе построили гидроэлектростанцию с тремя трехфазными генераторами мощностью 150 кВт каждый. Электроэнергия передавалась на расстояние 23 км для электроснабжения завода. Вслед за этими первыми установками началось довольно быстрое строительство ряда электростанций, причем наибольшее их число находилось в Германии.

Известные трудности в развитии электрификации на базе трехфазных систем возникали в связи с тем, что уже раньше в городах были построены станции постоянного или однофазного тока, а иногда и двухфазного. Владельцы и акционеры этих станций и электрических сетей всячески препятствовали внедрению трехфазной системы. Некоторым выходом явилось сочетание трехфазной электропередачи с распределением энергии на постоянном токе.

В Америке первая трехфазная установка была сооружена в конце 1893 г. в Калифорнии. Гидроэлектростанция располагала двумя генераторами мощностью по 250 кВт. От электростанции провели две линии генераторного напряжения (2500 В). Первая из них длиной 12 км поставляла энергию для осветительных целей, а вторая длиной 7,5 км предназначалась для питания трехфазного асинхронного двигателя мощностью 150 кВт.

Темпы внедрения трехфазной системы в Америке вначале были заметно ниже, чем в Европе. Это объясняется тем, что одна из крупнейших американских фирм – компания «Вестингауз» настойчиво пыталась развернуть работы по сооружению электростанций и электрических сетей по системе Теслы. Высшим достижением двухфазной системы считалась грандиозная по тому времени электростанция на Ниагарском водопаде, пущенная в эксплуатацию в 1896 г. На ней были установлены три двухфазных генератора по 5000 л.с. каждый с напряжением 2400 В. Вскоре началось расширение станции, и к началу XX столетия число агрегатов было увеличено до восьми, а общая мощность возросла до 40 000 л.с.

Американская фирма «Дженерал электрик», основной оппонент фирмы «Вестингауз», быстро переориентировалась и в противовес конкурирующей фирме развила бурную деятельность по сооружению трехфазных установок. Фирма «Вестингауз» проиграла: Ниагарская гидроэлектростанция со временем была переоборудована в трехфазную.

Для переходного периода в любой области техники характерны попытки комбинирования устаревающих и новых технических решений. Так, в течение почти двух десятилетий начиная с 1891 года делались попытки «примирить» трехфазные системы с другими системами. В эти годы существовали электростанции, на которых одновременно работали генераторы постоянного, переменного однофазного тока, двухфазные и трехфазные или любая их комбинация. Напряжения и частоты были различными, потребители питались по раздельным линиям. Попытки спасти устаревающие системы, а вместе с ними и освоенное заводами электрооборудование, приводили к созданию комбинированных систем.

Наиболее известной из комбинированных систем является схема, предложенная в 1894 г. Скоттом. В основе этой схемы лежит так называемый «трансформатор Скотта», предназначенный для взаимного преобразования токов двухфазной и трехфазной систем.

Однако судьба комбинированных систем, равно и систем электроснабжения постоянным и однофазным переменным токами, была предрешена, и уже с 1901-1905 годов сооружаются трехфазные электростанции, которые вначале в основном были станциями фабрично заводского типа.

Трехфазная техника позволяла строить крупные электростанции на месте добычи топлива, на водопаде или на подходящей реке, а вырабатываемую энергию транспортировать по линиям электропередачи в промышленные районы и города. Такие электростанции стали называть районными.

Первые районные электростанции были построены во второй половине 90-х годов XIX в., а в следующем столетии они составили основу развития электроэнергетики. Первой районной электростанцией считают Ниагарскую ГЭС.

Широкий размах строительство районных электростанций приобрело с начала XX в. Этому способствовал рост потребления электроэнергии, связанный с внедрением в промышленность электропривода, развитием электрического транспорта и электрического освещения городов.

Электрические станции становились крупными промышленными предприятиями по выработке электроэнергии; сети разных станций объединялись, создавались первые энергетические системы. Под энергетической системой стали понимать совокупность электростанций, линий электропередачи, подстанций и тепловых сетей, связанных общностью режима и непрерывностью процесса производства и распределения электрической и тепловой энергии.

До появления районных электростанций электрических систем практически не было. Электростанции работали изолированно, каждая имела свою нагрузку. При изолированной работе станций не было большой необходимости устанавливать стандартные частоты и напряжения, и последние принимались в зависимости от конкретных условий данной станции. Последствия этого еще долго сказывались в некоторых странах, например, в США и Японии приходилось подключать на параллельную работу электростанции, работавшие при различных частотах (50 и 60 Гц). Потребность объединить работу нескольких электростанций в общую сеть стала проявляться уже в 90-х годах XIX в. Было выяснено, что при совместной работе уменьшается необходимый резерв на каждой станции в отдельности, появляется возможность ремонта оборудования без отключения основных потребителей, создаются условия для выравнивания графика нагрузки базисных станций, для более эффективного использования энергетических ресурсов.

Первое известное объединение двух трехфазных электростанций было осуществлено в 1892 г. в Швейцарии. Две небольшие электростанции – в г. Глэдфельдене (120 кВ·А) и г. Гохфельдене (360 кВ·А) – соединялись двухкилометровой линией напряжением 5 кВ и питали распределительную сеть завода фирмы «Эрликон» по линии передачи протяженностью 24 км при напряжении 13 кВ. Возбуждение генераторов первой станции регулировалось со щита управления второй.

4.4. Развитие систем производства и передачи электроэнергии в России

С созданием М. О. Доливо-Добровольским трехфазной системы появилась возможность передавать энергию на значительные расстояния, получая электроэнергию там, где это экономически выгодно, и передавая ее туда, где в ней имеется потребность. Именно так высказывались Н. Н. Бенардос, Ф. А. Пироцкий, Д. А. Лачинов. В первую очередь это касалось источников гидроэнергии, но это относилось и к твердому топливу, так как было трудно перевозить на большие расстояния золу, например, для сланцев, да и потери угля при перевозке были большими.

Русские электротехники сумели быстро оценить достоинства трехфазной системы. Уже в январе 1892 г. на 4-й Петербургской электротехнической выставке демонстрировались две трехфазные машины системы Доливо-Добровольского мощностью по 15 кВт.

В России первым предприятием, где начали применять трехфазную систему электроснабжения, был Новороссийский элеватор. Руководил созданием системы электроснабжения в 1893 г. инженер А. Н. Щенснович. Для питания сети использовались четыре синхронных генератора по 300 кВт.

Александр Щенснович родился 27 мая 1845 г. в Архангельске. Первое образование он получил в инженерном и артиллерийском училищах Морского ведомства в Петербурге. В 1868 г. юнкер Александр Щенснович прошел академический курс морских наук по механическому отделению. По прошествии времени он понял, что полученных знаний ему недостаточно, и в 1873 г. поступил в Петербургский институт инженеров путей сообщения, где и обучался до 1875 г.

В 1891 г. Александр Щенснович был определен в город Новороссийск на должность заведующего строительными работами железнодорожной станции Новороссийск акционерного общества Владикавказской железной дороги, и в этом же году правление АО «Владикавказская железная дорога» приняло решение о строительстве в городе элеватора с электростанцией.

В это время в г. Новороссийске электричество вырабатывалось на турбогенераторных станциях мощностью до 3000 л.с. на базе цементных заводов «Пролетарий» и «Октябрь».

В августе 1891 г. Александр Щенснович направляется на международную электротехническую выставку в Франкфурт-на-Май-

не. На этой выставке русский инженер М. О. Доливо-Добровольский продемонстрировал свое изобретение: небольшая гидроэлектростанция с трёхфазным синхронным генератором, которая с помощью понижающего и повышающего трансформаторов передавала электроэнергию на невиданное в те времена расстояние в 170 км. Эта новинка настолько поразила Александра Щенсновича, что сразу по возвращении в Россию он заказал чертежи этой установки в швейцарской фирме «Броун-Бовери».

Возглавив строительство электростанции, Александр Щенснович понимал, что для реализации такого инновационного проекта и дальнейшего его обслуживания требуются высококвалифицированные работники. Для этого он отобрал матросов с кораблей военного флота, которые прошли специальную подготовку в Кронштадте под руководством изобретателя радио А. С. Попова, и именно с их помощью было смонтировано около 100 асинхронных электродвигателей, установлено 4 генератора по 300 кВт.

В 1893 г. первая промышленная электростанция, вырабатывающая трехфазный (переменный) ток, была запущена в эксплуатацию. Станция работала на нефти. Так, впервые в мировой практике трехфазные двигатели стали использовать в промышленности. Общая мощность электростанции составила 1260 кВт. Это была самая мощная по тем временам установка трехфазного тока. Впервые в мире Новороссийский элеватор был оснащен индивидуальным приводом на электромоторах.

В интервью журналу *«Русский вестник»* за 1895 год Александр Щенснович отмечал, что при постройке элеватора применялись самые новые усовершенствования, из которых значительная часть придумана, спроектирована и исполнена на месте. В железнодорожных мастерских производилась механическая обработка деталей электрогенераторов и электродвигателей, в мастерской строящейся электростанции изготавливались электрообмотки и производилась сборка машин. Котлы были изготовлены на медно-чугунолитейном заводе «Макларен, Фрейшист и К°», который находился в г. Новороссийске.

По воспоминаниям современников, Александр Щенснович был человеком трудолюбивым, инициативным, требовательным к себе и подчиненным, хорошо разбирался в людях. Он с раннего утра, а летом с четырех часов, обходил свои участки: электростанцию, элеватор, железную дорогу, говорил с рабочими, вникал во все детали. Несмотря на суровость и требовательность, он был внимателен к людям, оказывал помощь рабочим в индивидуальном строительстве. Был почетным блюстителем Новороссийского двухклассного

училища Владикавказской железной дороги, входил в состав комиссии помощи бедным.

В апреле 1917 г. Александр Щенснович был командирован во Владивосток для приемки паровозов из США. Там его застала смена власти и Первая мировая война, которые не позволили ему вернуться в г. Новороссийск. В 1922 г. на 77 году жизни в г. Хабаровске Александр Щенснович скончался.

Благодаря инженерным работам Александра Щенсновича трехфазный (переменный) ток получил широкое распространение в промышленности всего мира.

Представляет интерес электрификация Охтинского порохового завода в Петербурге (середина 90-х гг.). Ее организаторы – В. Н. Чиколев и Р. Э. Классон (1868-1926 гг.) осуществили передачу и распределение энергии с помощью трехфазных цепей. На гидростанции работали два генератора мощностью 120 и 175 кВт. Оба генератора могли работать независимо друг от друга, но могли включаться также и на параллельную работу. Наибольшая длина передачи составляла 2,66 км. Нагрузку составляли девять электродвигателей, из которых один имел мощность 65 л.с., три – по 20 л.с. и пять – по 10 л.с. Кроме того, два двигателя по 1,5 л.с. были установлены на гидростанции для привода щитовых затворов. Часть энергии для питания дуговых ламп преобразовывались в энергию постоянного тока. Охтинская установка представляла собой в то время наиболее прогрессивное инженерное решение задачи централизованного электроснабжения промышленного предприятия.

Первой в России электропередачей значительной протяженности была установка на Павловском прииске Ленского золотопромышленного района в Сибири. Электростанция была построена в 1896 году на р. Ныгра. Здесь были установлены трехфазный генератор (98 кВт, 600 об/мин, 140 В) и трансформатор соответствующей мощности, повышающий напряжение до 10 кВ. Электроэнергия передавалась на прииск, удаленный от станции на 21 км. На прииске для привода водоотливных устройств использовались трехфазные асинхронные двигатели мощностью 6,5-25 л.с. (напряжение 260 В). Так постепенно расширялось в России строительство трехфазных электростанций.

С 1897 г. началась электрификация крупных городов: Москвы, Петербурга, Самары, Киева, Риги, Харькова и др.

В 1899 году была введена в действие электростанция в Баку. В Баку инженерами Р. Э. Классоным и Л. Б. Красиным в 1902 г. была создана первая энергетическая система в России на базе двух электростанций.

В конце 1906 г. были изобретены подвесные изоляторы, что позволило увеличить величину передаваемого напряжения.

Увеличение числа электростанций и длины линий электропередачи создали условия для возникновения энергетических систем, объединявших электростанции, находящиеся на значительных расстояниях друг от друга.

В 1913 г. в России были объединены в систему две электростанции: тепловая станция в Пятигорске и гидростанция «Белый уголь» на реке Подкумок (рис. 114). В работе по объединению станций в систему принимал участие М. А. Шателен. От объединенной системы питалось 400 уличных фонарей и 3000 ламп накаливания, насосы перекачки минеральных вод (30 электродвигателей общей мощностью 110 л.с.), трамвай в Пятигорске – 3 версты, Кисловодская грузовая дорога – 2 версты. Общая протяженность электрических линий составила 62 км.

Объединение электростанций дало ряд экономических преимуществ:

– унификация частоты и напряжения, а следовательно, унификация параметров приемников;

– уменьшение потребности в резервах отдельных станций, возможность ремонта оборудования без отключения потребителей;

– возможность перераспределения нагрузки между гидро-, тепловыми электростанциями и разделения их на базисные и пиковые.

Более мощные энергосистемы в России появились в XX в. Первая из них – это разветвленная система с кабельными сетями 20 кВ в Баку, питаемая двумя электростанциями: к 1914 г. мощность одной из них достигла 36,5 МВт, другой – 11 МВт.

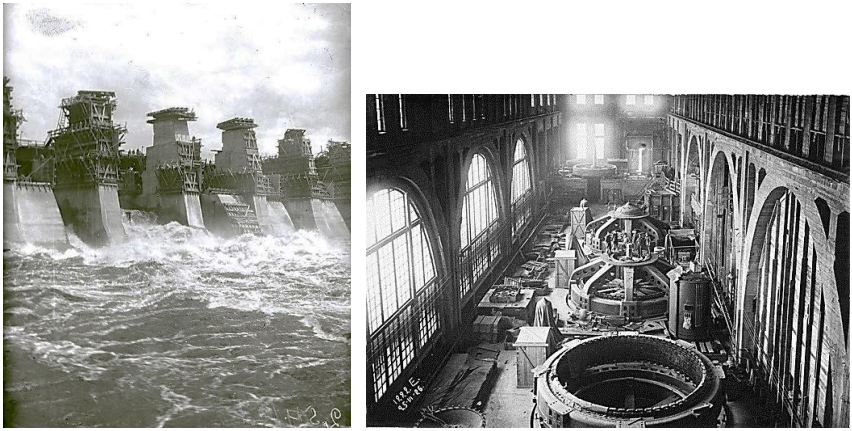
Рис. 114. Первая ГЭС «Белый уголь», построенная в 1903 г. на реке Подкумок
(URL: http://www.stav.aif.ru/)

Московская энергосистема, в создании которой участвовал Р. Э. Классон, имела две станции: Московскую городскую и станцию «Электропередача» в г. Богородске (Ногинск), работавшую на торфе.

С начала XX в. создание энергосистем стало определяющим для прогресса электроэнергетики и промышленности в целом.

Развитие энергосистем, связанных длинными линиями со значительным индуктивным сопротивлением, поставило вопрос об устойчивости параллельной работы генераторов и о последствиях, наступающих при нарушении их синхронной работы. В этом случае наблюдалась перегрузка отдельных генераторов или электростанций, приводящая к их отключению от энергосистемы, т.е. развал системы. Такое событие произошло в 1965 г. в Нью-Йорке. Одним из путей повышения устойчивости является применение вставок постоянного тока. Возможно применение также электромеханических преобразователей.

В 1910 г. инженер Г. О. Графтио разработал проект Волховской гидростанции с передачей энергии в Петербург (рис. 115).



а *б*

Рис. 115. Общий вид плотины Волховской ГЭС, 1926 г. (а) и вид машинного зала Волховской ГЭС, 1926 г. (б)
(URL: http://energymuseum.ru/docs/)

Начались также изыскательские работы по созданию электростанций на реках Свири, Днепре, Чусовой, Тереке, Вуоксе.

В 1918 г. был создан Центральный электрический совет (ЦЭС), в который вошли Г. О. Графтио, Л. И. Шпергазе, А. А. Смуров, И. В. Егиазаров. К работам ЦЭС большое внимание проявил

В. И. Ленин, поручивший руководство работой Г. М. Кржижановскому.

В 1919 г. по поручению В. И. Ленина Г. М. Кржижановский опубликовал в *«Правде»* статью о торфе, а затем написал в правительство записку (изданную позже в виде брошюры) *«Основные положения и задачи электрификации России»*.

Одиннадцатого февраля 1920 г. состоялось заседание ЦЭС с представителями Электроотдела ВСНХ, Наркомзема, Электротреста, Электростроя, Теплового комитета и др. Г. М. Кржижановский сообщил решение ВЦИК о создании Комиссии по электрификации для объединения работ *«разрозненных групп»* и направления их по государственному руслу.

Работа комиссии ГОЭЛРО поддерживалась правительством, которое вело широкую пропаганду его работы. Был создан *«План электрификации России»*, который насчитывал 672 страницы текста с большим числом схем и графиков. Разделы записки были следующими: а) *Электрификация и план государственного хозяйства* (Г. М. Кржижановский); б) *Электрификация и тепло-, водоснабжение* (Г. М. Кржижановский); в) *Электрификация и водное хозяйство* (Г. М. Кржижановский); г) *Электрификация и сельское хозяйство* (Г. М. Кржижановский); д) *Электрификация и транспорт* (И. Г. Александров, Г. О. Графтио); е) *Электрификация и промышленность* (К. А. Круг, А. Г. Коган, Л. К. Рамзин).

Пояснительная записка к схематической карте электрификации составлена Е. Я. Шульгиным.

Программа выполнения плана ГОЭЛРО была рассчитана на 10-15 лет и состояла из двух частей: Программа А – план восстановления и реконструкции довоенного электрохозяйства, увеличения мощности имеющихся электростанций, объединения их в системы, улучшения показателей; Программа Б намечала сооружение 30 крупных районных паровых и гидростанций общей мощностью 1700 тыс. кВт.

Первенцем плана ГОЭЛРО стала Каширская ГРЭС на подмосковном угле мощностью 12 тыс. кВт (рисунок 117) и линия передачи Кашира – Москва. Затем была построена Шатурская ГЭС на торфе и линия Шатура – Москва. Первая турбина этой ГЭС мощностью 16000 кВт была пущена 23 сентября 1925 г., а 13 октября была пущена вторая турбина, которая довела мощность станции до 32000 кВт. Затем были построены Волховская и Земо-Авчальская гидроэлектростанции.

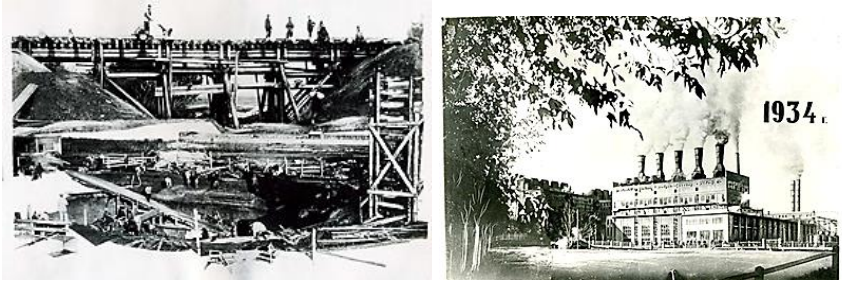
В результате выполнения плана ГОЭЛРО были созданы энергосистемы:

1) Мосэнерго – общей мощностью 820 тыс. кВт;
2) Донбассэнерго – 665 тыс. кВт;
3) Днепроэнерго – 610 тыс. кВт;
4) Горьковэнерго – 230 тыс. кВт;
5) Ленэнерго – 550 тыс. кВт.

Рис. 116. Карта-схема строительства электростанций по плану ГОЭЛРО в 1920-1937 гг.
(URL: http://energymuseum.ru/docs/)

В 1933 г. в системе Ленэнерго была введена первая линия от Свирской ГЭС до Ленинграда напряжением 220 кВ.

Подчеркивая размах электрификации, необходимо указать некоторые даты, ее характеризующие: 1927 г. – вступила в строй Кувшиновская ГРЭС, начато строительство Днепровской и Нижнесвирской ГЭС; 1928 г. – Ивановская ТЭЦ, Ярославская ГРЭС, Кондопожская и Ленинаканская ГЭС; 1929 год – Криворожская и Шахтинская ГРЭС; 1930 г. – Саратовская, Новороссийская, Харьковская, Челябинская, Ивановская, Белорусская ГРЭС; 1931 г. – Зуевская, Брянская ГРЭС, Березниковская и Кузнецкая ТЭЦ; 1932 г. – Днепровская ГЭС; 1933 г. – Воронежская ГРЭС, Казанская ГЭС; 1940 г. – Угличская ГЭС; 1942 г. – Новосибирская, Карагандинская, Челябинская, Кирово-Чепецкая ГРЭС; 1952 г. – Цимлянская ГЭС; 1958 г. – первая очередь Волжской ГЭС; 1961 г. – Братская ГЭС.



а *б*

Рис. 117. Начало строительства Каширской ГРЭС (а) и вид Каширской ГРЭС после реконструкции, сооружения второй очереди (б)
(из памятного альбома к 15-летию станции, фотомонтаж 1934 г.)
(URL: http://energymuseum.ru/docs/)

Первая атомная электростанция мощностью 5000 кВт была пущена в Обнинске в 1954 г.

4.5. Исторические вехи в развитии электрических станций

Электрические станции, которые стали интенсивно строиться в 70-80-х годах XIX в., продолжают строиться и сегодня. Их можно классифицировать по используемой первичной энергии на следующие виды: тепловые, включая атомные; гидравлические; ветровые; гелиостанции; геотермальные; приливные и др.

Рассмотрим кратко, что представляют собой перечисленные виды электростанций и какие особенности функционирования и конструкций они имеют.

Тепловые электростанции. Согласно общепринятому определению, тепловые электростанции – это электростанции, вырабатывающие электроэнергию посредством преобразования химической энергии топлива в механическую энергию вращения вала электрогенератора. В качестве топлива широко используются различные горючие ископаемые топлива: уголь, природный газ, реже – мазут, ранее – торф и горючие сланцы.

Выработка электричества в ТЭС происходит при участии множества последовательных этапов, но общий принцип её работы очень прост. Вначале топливо сжигается в специальной камере сгорания (паровом котле), при этом выделяется большое количество тепла, которое превращает воду, циркулирующую по специальным

системам труб, расположенным внутри котла, в пар. Постоянно нарастающее давление пара вращает ротор турбины, которая передает энергию вращения на вал генератора, и в результате вырабатывается электрический ток.

Система пар/вода замкнута. Пар, после прохождения через турбину, конденсируется и вновь превращается в воду, которая дополнительно проходит через систему подогревателей и вновь попадает в паровой котел.

С момента своего появления именно ТЭС получили наибольшее распространение, учитывая все увеличивающуюся энергетическую потребность наступившего техногенного века.

Первая в истории центральная электростанция (the Pearl Street) была запущена в эксплуатацию в Нью-Йорке 4 сентября 1882 г. Она была построена при поддержке Edison Illuminating Company, которую возглавлял знаменитый изобретатель Томас Эдисон. На станции были установлены несколько генераторов Эдисона общей мощностью свыше 500 кВт (рис. 118). Pearl Street снабжала электроэнергией небольшой район площадью около 2,5 квадратных километра.

В первый год своей работы станция обеспечила электричеством чуть более 80 клиентов (400 лампочек). В 1890 г. станцию уничтожил пожар. До наших дней от Pearl Street сохранилась только одна динамо-машина, которая находится сейчас в музее в штате Мичиган.

В 1883 г. первая тепловая электростанция была построена и в России (Петербург). В России было предложено использовать торф в качестве топлива для теплоэлектростанций, а сама идея принадлежала русскому инженеру Роберту Классону. Первая станция «на торфе» по проекту Классона была построена в подмосковном Ногинске в 1914 г. (рис. 119). Эта станция является одной из старейших действующих ТЭС в мире. Её установленная электрическая мощность составляет 548 МВт, установленная тепловая мощность – 277 Гкал/ч.

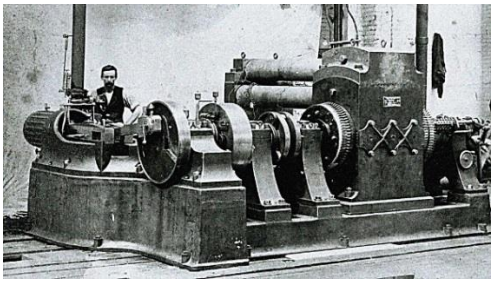


Рис. 118. Динамо-машина станции Pearl Street

(URL: http://peretok.ru/articles/freezone/9960/)

Тепловые электростанции, в зависимости от типа первичного генератора, подразделяются:

– на электростанции с паровыми турбинами, конденсационные – КЭС или ГРЭС (государственная районная электростанция), которые вырабатывают только электрическую энергию;

– с теплофикационными турбинами – ТЭЦ, в которых одна часть тепловой энергии отдается потребителям в виде горячей воды или пара, а другая часть идет на выработку электроэнергии;

– с поршневыми машинами – локомобилями или дизелями;

– с газовыми турбинами;

– атомные и др.

Рис. 119. Теплоэлектростанция в Ногинске, работающая на торфе
(URL: http://peretok.ru/articles/freezone/9960/)

Тепловые станции состоят из следующих основных крупных структурных узлов:

1) Котельная установка – служит для выработки пара из воды за счет использования тепла топлива (угля, торфа, нефти, мазута и т.д.).

В котельную установку входят топка, где происходит сжигание топлива, и паровой котел. Кроме этого в нее входят пароперегреватель, экономайзер – для подогрева питательной воды, воздухоподогреватель – для подогрева воздуха для топки. Котельная установка имеет также вспомогательное оборудование:

– тягодувное устройство – естественное, в виде высокой трубы, или дутьевые вентиляторы – искусственное;

– золоуловители (фильтры);

– водоподготовка – очистка воды.

2) Паровая турбина, которая состоит из вала, на котором прочно насажены диски. На ободах этих дисков закреплены особо изогнутые рабочие лопатки. Вал вращается на подшипниках. Пар из котла

по соплам поступает на рабочие лопатки турбины и заставляет вал турбины вращаться. Выходя из пространства турбины, пар конденсируется, чтобы создать больший перепад в давлении, ускорить протекание пара и повысить эффективность цикла. Давление уменьшается со 100 до 0,4 атм.

3) Электрогенератор. Его ротор находится на одном валу с турбиной. Электрогенератор вырабатывает электрическую энергию, которая поступает на преобразовательную подстанцию.

Крупнейшей ТЭС в мире является китайская Tuoketuo установленной мощностью 6600 МВт (рис. 120, *а*). Станция состоит из пяти энергоблоков, каждый из которых включает в себя два блока мощностью 600 МВт. Помимо основного оборудования на станции установлены два блока суммарной мощностью 600 МВт для собственных нужд. Ежегодно станция производит 33,3 млрд кВт·ч электрической энергии. Электростанция занимает площадь 2,5 км^2, в качестве топлива использует уголь, который добывают примерно в 50 км от нее. Потребность в воде удовлетворяется путем откачки воды из Желтой реки, расположенной в 12 км.

Рассматривая крупнейшие электростанции мира, следует отметить, еще одну крупную тепловую установку – Таичжунскую, расположенную на острове Тайвань. До 2011 г. она считалась в своем классе наиболее крупной, но затем уступила мировое первенство станциям Tuoketuo и ГРЭС-2 г. Сургута. После того как были установлены дополнительные блоки, Таичжунская ТЭС приобрела установленную мощность в 5824 МВт. Схема электростанции включает в себя 10 энергетических блоков по 550 МВт, работающих на угле, потребляемом ежегодно в количестве 14,5 млн. т. Дополнительно установлено еще 4 блока, работающих на природном газе, производительностью по 70 МВт. К общей мощности станции добавляется потенциал 22 ветровых турбин в размере 44 МВт. Весь комплекс зданий и сооружений располагается на территории с размерами 2,5×1,5 км. Среднегодовой показатель вырабатываемой электроэнергии находится в пределах 42 млрд кВт·ч.

а

б

Рис. 120. Крупнейшая в мире ТЭС Tuoketuo (а), Сургутская ГРЭС-2 (б)
(URL: http://peretok.ru/articles/freezone/9960/)

Крупнейшей российской ГРЭС является Сургутская ГРЭС-2 (рис. 120, *б*), ее установленная электрическая мощность составляет 5597,1 МВт, а установленная тепловая мощность – 840 Гкал/ч. Станция работает на попутном нефтяном (попутный продукт добычи нефти) и природном газах в соотношении 70/30%. Годовое производство электричества превышает 39 млрд кВт·ч.

Крупнейшие ТЭС мира и России, а также их общие характеристики приведены в таблице 2.

Газотурбинные электростанции. Эти станции работают примерно по тому же принципу, что и паротурбинные, но в качестве рабочего вещества используется не водяной пар, а газ – продукт сгорания топлива или природный газ. Применение газовых турбин в настоящее время – одно из перспективных снижений затрат на получение электрической и тепловой энергии. Для них характерно блочно-модульное исполнение, высокие технические характеристики, малые габариты (так как не требуются паровой котел и паропроводы). Для повышения эффективности функционирования они укомплектовываются водяным котлом-утилизатором, КПД с таким котлом примерно равно 77%.

Таблица 2

Тепловые электростанции мира и России

Название, местоположение	Общие характеристики тепловых электростанций
ТЭС Tuoketuo, Китай	Установленная мощность 6600 МВт; пять энергоблоков, каждый из которых включает в себя два блока мощностью 600 МВт; два блока для собственных нужд суммарной мощностью 600 МВт; работает на угле; ежегодная выработка электрической энергии равна 33,3 млрд кВт·ч; эксплуатируется с 1995 г.
Тайчжунская ТЭС, Китай	Установленная мощность 5824 МВт; десять энергоблоков по 550 МВт каждый, которые используют в качестве топлива уголь, привезённый из Австралии, и четыре дополнительных блока по 70 МВт на природном газе; ежегодная выработка электрической энергии равна 42 млрд кВт·ч; эксплуатируется с 1992 г.
Сургутская ГРЭС-2, Россия	Установленная мощность 5597,1 МВт; работает на попутном нефтяном и природном газах; ежегодная выработка электрической энергии равна 39 млрд кВт·ч; эксплуатируется с 1985 г.
Белхатувская ТЭС, Польша	Установленная мощность 5258 МВт; 13 энергоблоков; работает на буром угле; ежегодная выработка

	электрической энергии равна 27-28 млрд кВт·ч; эксплуатируется с 1975 г.
Рефтинская ГРЭС, Россия	Установленная мощность 3800 МВт; работает на твёрдом топливе (уголь); ежегодная выработка электрической энергии равна 20 млрд кВт·ч; эксплуатируется с 1963 г.
Костромская ГРЭС, Россия	Установленная мощность 3600 МВт; работает на природном газе; ежегодная выработка электрической энергии равна 15 млрд кВт·ч; эксплуатируется с 1969 г.
Лукомльская ГРЭС, Белорусь	Установленная мощность 2889,5 МВт; 8 энергоблоков по 300 МВт каждый; работает на газе и мазуте; ежегодная выработка электрической энергии равна 14,75 млрд кВт·ч; эксплуатируется с 1969 г.

Использование малых газотурбинных электростанций целесообразно для удалённых или экономически обособленных потребителей, для которых характерны длительные периоды непрерывной работы (в противовес поршневым агрегатам) либо простоя (делающего невыгодным создание мощных подключений к централизованным электросетям), особенно – при необходимости отопления объекта или другом использовании параллельно получаемого тепла.

Крупные ГТЭС оправданы в сравнении с тепловыми (паротурбинными) станциями при доступности дешёвого топлива и чрезмерной дороговизне капитального строительства (нефтегазоносные районы Севера).

Гидроэлектростанции (ГЭС). Гидроэнергия использовалась с древних времён, для помола муки и других нужд. При этом приводом служил колёсный механизм, вращаемый потоком воды. В середине 1770-х годов французский инженер Бернар Форест де Белидор в опубликованной им работе «*Architecture Hydraulique»* привёл описание гидромашин с вертикальной и горизонтальной осью вращения. К концу XIX века появились электрические генераторы, которые могли работать в сочетании с гидроприводом. Промышленная революция и растущий спрос на электроэнергию дали толчок в их развитии. В 1878 году заработала первая в мире ГЭС, разработанная английским изобретателем Уильямом Джорджем Армстронгом в Нортумберленде, Англия. Она представляла собой агрегат, предназначенный для питания одной единственной дуговой лампы в его картинной галерее.

В 1853 г. компания Найагагра Фоллс Хайдролик Пауэр энд Меньюфекчеринг в США впервые получила лицензию и в 1860 г.

начала строительство канала на реке Ниагара. 35 футов (11 м) шириной и 8 футов (2,4 м) глубиной канал был завершен в 1861 году, а в 1875 г., электростанция начала работать. Тем не менее, гидравлическая установка производила очень мало энергии, находясь в начале эры электричества. В 1877 г. канал и само предприятие приобрел Якоб Шоеллкопф (Jacob Schoellkopf), успешный бизнесмен, которому удалось найти новых клиентов для гидравлической установки в лице нескольких заводов. Более того, в 1882 г. он приспособил к одному из водяных колёс электрогенератор, питавший 16 осветительных ламп. Это была одна из первых, по-настоящему промышленных ГЭС в мире, мощностью 50 тыс. л.с., работавшая при напоре 41,2 м. Она была предназначена для электроснабжения г. Буффало и проработала до 1904 г. Здесь была реализована трехфазная система тока, а передача электроэнергии осуществлялась на расстояние 40 км.

Старинная электростанция № 1 Schoelkopf возле Ниагарского водопада в США начала производить электричество в 1881 г. Первая гидроэлектростанция Эдисона, Vulcan Street начала работать 30 сентября 1882 г. в городе Аплтон (штат Висконсин, США) и выдавала мощность около 12,5 кВт. К 1886 г. в США и Канаде было уже 45 гидроэлектростанций, а к 1889 г. только в США их было уже 200.

Первой электростанцией трехфазного тока была Лаутенская гидроэлектростанция. На ней были установлены два одинаковых трехфазных синхронных генератора. Фазное напряжение при помощи трансформаторов повышалось с 50 до 5000 В. Ее электроэнергия использовалась для питания осветительной сети города Хейльбронна, а также ряда небольших заводов и мастерских. Понизительные трансформаторы устанавливались непосредственно у потребителей. Эта первая в мире промышленная установка трехфазного тока была запущена в эксплуатацию в начале 1892 г. Использование энергии вод в этой установке показало возможность использования гидроресурсов, отдаленных от промышленных центров. С тех пор число гидроэлектрических установок все время возрастает.

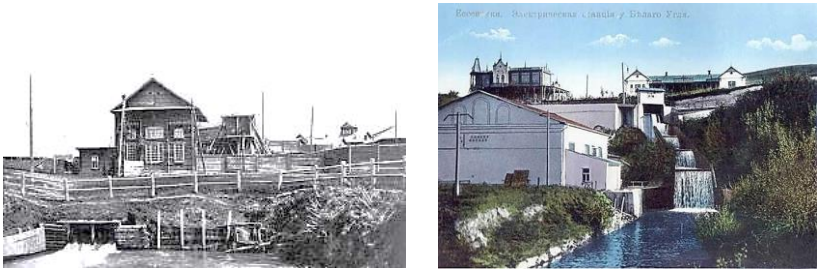
Первые гидростанции, как правило, возводились на базе построенных ирригационных плотин. По-видимому, первой плотиной в Европе, построенной для ГЭС, была Одерич, высочайшая плотина Германии конца XIX века, ее длина составляла 151 м, максимальная высота – 22 м, толщина – 16 м на гребне и 44 м у подошвы. Интересна конструкция этой плотины-сэндвича: три стены из гранитной

кладки, верховая, низовая и центральная – ядро; пазухи между стенами заполнены грунтом и мхом.

В начале XX века коммерческими компаниями строилось много небольших ГЭС в горах недалеко от городских районов. К 1920 году до 40% электроэнергии, производимой в Соединённых Штатах, вырабатывалось на ГЭС. В 1925 г. в Гренобле (Франция) состоялась Международная выставка гидроэнергетики и туризма, которую посетили более одного миллиона человек. Одной из вех в освоении гидроэнергетики как в США, так и в мире в целом стало строительство в 1930-х плотины Гувера.

Наиболее достоверным считается, что первой гидроэлектростанцией в России была Берёзовская (Зыряновская) ГЭС, построенная в Рудном Алтае на реке Берёзовка (приток реки Бухтармы) в 1892 г. (рис. 121, *а*). Она была четырёхтурбинная, общей мощностью 200 кВт и предназначалась для обеспечения электричеством шахтного водоотлива из Зыряновского рудника. Станция могла работать равномерно весь год, даже если уровень реки резко падал. История сохранила и фамилию автора этого замечательного проекта горного инженера Николая Кокшарова.

На роль первой также претендует Ныгринская ГЭС, которая появилась в Иркутской губернии на реке Ныгри (приток реки Вачи) в 1896 г. Энергетическое оборудование станции состояло из двух турбин с общим горизонтальным валом, вращавшим три динамомашины мощностью по 100 кВт. Первичное напряжение преобразовывалось четырьмя трансформаторами трёхфазного тока до 10 кВ и передавалось по двум высоковольтным линиям на соседние прииски. Это были первые в России высоковольтные ЛЭП. Одну линию (длиной 9 км) проложили через гольцы к прииску Негаданному, другую (14 км) – вверх по долине Ныгри до устья ключа Сухой Лог, где в те годы действовал прииск Ивановский. На приисках напряжение трансформировалось до 220 В. Благодаря электроэнергии Ныгринской ГЭС в шахтах установили электрические подъёмники. Кроме того, электрифицировали приисковую железную дорогу, служившую для вывоза отработанной породы, которая стала первой в России электрифицированной железной дорогой.



а *б*

Рис. 121. ГЭС на реке Березовка, 1892 г. (а) и ГЭС «Белый уголь» после пуска (б)
(URL: http://energymuseum.ru/docs/)

Первой ГЭС в России, которую можно считать промышленной, т.е. работающей в энергосистеме, была гидроэлектростанция «Белый уголь» на реке Подкумок в современном Ставропольском крае (рис. 121, *б*). Построена эта станция была еще в 1903 г. под управлением Владикавказской железной дороги с целью энергоснабжения курортов Кавказских Минеральных Вод. Построили ее быстро – всего за три с лишним месяца, с мая по июнь. Руководили строительством впоследствии знаменитые ученые, академики Генрих Осипович Графтио и Михаил Андреевич Шателен. Мощность станции на момент пуска составляла 990 л.с. (примерно 740 кВт), напор был небольшой – около 15 м. Тем не менее мощности станции хватало на освещение четырех городов, энергоснабжение трамвайных линий в Пятигорске и Кисловодске, а также насосов, качавших минеральную воду в санатории. В 1913 г. в параллель с «Белым углем» была включена Пятигорская тепловая электростанция – с этого и началась история создания единой энергосистемы страны.

В 1913 г. в России общая мощность гидроэлектростанций составляла всего лишь 16 тыс. кВт, самая крупная из них имела мощность 1,35 тыс. кВт. Развитие гидроэнергетики в России было стимулировано принятым в 1920 г. Государственным планом электрификации (ГОЭРЛО). Глава плана, посвящённая гидроэнергетике, называлась «Электрификация и водная энергия». В ней указывалось, что гидроэлектростанции могут быть экономически выгодными, главным образом, в случае комплексного использования: для выработки электроэнергии, улучшения условий судоходства или мелиорации. Предполагалось, что в течение 10-15 лет в стране можно соорудить ГЭС общей мощностью 21 254 тыс. л.с. (около 15 млн кВт), в том числе в европейской части России – мощностью

7394, в Туркестане – 3020, в Сибири – 10 840 тыс. л.с. На ближайшие 10 лет намечалось сооружение ГЭС мощностью 950 тыс. кВт, однако в последующем было запланировано сооружение десяти ГЭС общей рабочей мощностью первых очередей 535 тыс. кВт.

За год до этого, в 1919 г., Совет Рабочей и Крестьянской Обороны признал строительство Волховской и Свирской гидростанций объектами, имеющими оборонное значение. В том же году началась подготовка к возведению Волховской ГЭС, первой из гидроэлектростанций, возведённых по плану ГОЭЛРО.

В 1950 г. вышло постановление Совета Министров СССР о строительстве ряда гидроэлектростанций. С этого момента времени началось строительство Новосибирской ГЭС на Оби, Куйбышевской и Горьковской на Волге, Братской и Иркутской ГЭС на Ангаре, Цимлянской на Дону, Каховской на Днепре, Камской, Усть-Каменогорской и других ГЭС.

В гидростанциях для производства электроэнергии используется энергия движущейся воды.

Первичными двигателями электрогенераторов являются гидротурбины, в которых потенциальная и кинетическая энергия воды преобразуется в механическую энергию для вращения ротора генератора.

Гидротурбина состоит из рабочего колеса и направляющего устройства. Рабочее колесо жестко закреплено на валу турбины, имеет на своем ободе по всему периметру ряд особо изогнутых лопаток.

Направляющее устройство придает движению воды нужное направление и регулирует количество воды, поступающее в турбину с помощью поворотных лопаток. Механизм разворота направляющих лопаток связан с регулятором турбины, поддерживающим постоянное число оборотов турбины и тем самым частоту тока. Из рабочего колеса вода отводится через всасывающую трубу в нижний бьеф гидростанции.

Мощность, развиваемая турбиной на валу, P_m, зависит от расхода воды Q (м^3/с), от напора воды H (м), то есть от разности высот воды между верхним и нижним бьефом реки и от η – коэффициента полезного действия гидротурбины:

$$P_m = Q \cdot H \cdot \eta.$$

Гидроэнергетика России характеризуется высокой степенью концентрации мощностей. Крупнейшие ГЭС России и мира и их общие характеристики приведены в таблице 3.

Таблица 3

Крупнейшие гидроэлектростанции мира и России

Название, местоположение, дата ввода в эксплуатацию	Река	Установленная мощность, МВт/число турбин, шт.	Среднегодовая выработка, млрд. кВт·ч	Площадь водохранилища, км^2
1	2	3	4	5
Три ущелья; Китай; 2003/2007/2012	Янцзы	22500/32	98,1	1084
Итайпу́; Бразилия / Парагвай; 1984/1991/2003	Парана	14000/20	98,6	1350

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5
Силоду; Китай; 2014	Янцзы	13860/14	55,2	108
Белу Монти; Бразилия; 2016/2019	Шингу	11233/24	39,5	448
Гу́ри; Венесуэла; 1978/1986	Карони	10235/10	53,41	4250
Тукуруи; Бразилия; 1984/2007	Токантинс	8370/24	41,43	3014
Гранд-Кули; США; 1942/1980/1985	Колумбия	6809/33	20	324
Сянцзяба; Китай; 2012/2014	Янцзы	6448/8	30,8	95,6
Лунтань; Китай; 2007/2009	Хуншуйхэ	6426/9	18,7	–
Саяно-Шушенская; Россия; 1985/1989	Енисей	6400/10	24	621
Красноярская; Россия; 1967/1971	Енисей	6000/12	20,4	2000
Ночжаду; Китай; 2012/2014	Меконг	5850/–	23,9	320
Робер-Бурасса; Канада (Квебек); 1979/1981	Ла-Гранд	5616/16	26,5	2835
Черчилл-Фолс; Канада (Ньюфаундленд и Лабрадор); 1971/1974	Черчилль	5428/11	35	6988
Цзиньпин-II; Китай; 2012/2014	Ялунцзян	4800/8	24,23	–
Братская; Россия; 1961/1966	Ангара	4500/18	22,6	5426
Усть-Илимская; Россия; 1980	Ангара	3840/16	21,7	1 833
Богучанская; Россия; 2012/2014	Ангара	2997/9	17,6	2326
Волжская; Россия; 1959	Волга	2415/23	10,43	3117
Жигулевская; Россия; 1957	Волга	2100/20	11,7	6450
Бурейская; Россия; 2003/2009	Бурея	2010/6	5,07	740

Геотермальные электростанции (геоТЭС). Выражение «геотермальная энергия» означает, что это энергия тепла Земли («гео» – земля, «термальная» – тепловая). Основным источником этой энергии служит постоянный поток теплоты из раскаленных недр, направленный к поверхности Земли. Земная кора получает теплоту в результате трения ядра, радиоактивного распада элементов (подобно торию и урану), протекающих в толще Земли химических реакций. Постоянные времени этих процессов настолько велики относительно времени существования Земли, что невозможно оценить, увеличивается или уменьшается ее температура. Согласно некоторым прогнозам, объемы энергии тепла Земли, сконцентрированной под толщей земной коры в 10 км, в 50 тысяч раз превышают объемы энергии всех мировых запасов углеводородов – нефти и природного газа.

Геотермальная энергетика – это, прежде всего, производство электроэнергии, а также тепловой энергии за счёт энергии, содержащейся в недрах земли.

Преимуществом геотермальной энергетики является ее практически полная безопасность для окружающей среды. Количество CO_2, выделяемого при производстве 1 кВт электроэнергии из высокотемпературных геотермальных источников, составляет от 13 до 380 г, а например, для угля он равен 1042 г на 1 кВт·ч.

Однако тепло Земли очень «рассеянно», и в большинстве районов мира может использоваться с выгодой только очень небольшая часть энергии. Из них пригодные для использования геотермальные ресурсы составляют около 1% общей теплоемкости верхней 10-километровой толщи земной коры, или 137 трлн т у.т.

Геотермальное тепло можно утилизировать либо «непосредственно», либо преобразовывать его в электричество (посредством геоТЭС), если температура теплоносителя достигает значения более чем 150°С.

Геотермальная электростанция (геоТЭС) – вид электростанций, которые вырабатывают электрическую энергию из тепловой энергии подземных источников.

Запасы геотермальной энергии огромны. Геотермальная энергия в ряде стран, таких как Венгрия, Исландия, Италия, Мексика, Новая Зеландия, Россия, США, Япония, широко используется для теплоснабжения, а также выработки электроэнергии. Так, в Исландии за счет геотермальной энергии обеспечивается 26,5% выработки электроэнергии.

Впервые геотермальная станция на глубинном паре давлением 5 атм. и температурой плюс 200°С была построена в Италии в городе Лардерелло в 1904 г.

В 2004 г. в мире суммарная мощность геотермальных электростанций составляла около 9 млн кВт, а геотермальных систем теплоснабжения – около 20 млн кВт (тепловых). По прогнозам мощность геоТЭС может возрасти до 20 млн кВт, а выработка электроэнергии – 120 млрд кВт·ч.

Геотермальная энергия обеспечивает теплом столицу Исландии Рейкьявик. На острове уже в 1943 г. были пробурены 32 скважины на глубину от 440 до 2400 м, по которым к поверхности поднимается вода с температурой от 60 до 130 °С, причем девять из этих буровых скважин действуют и по сей день. Примерно 90% домов в Исландии обогреваются геотермальным теплом (рис. 122).

В США в Долине гейзеров расположено 19 геоТЭС общей мощностью 1300 МВт. Мощнейшая в мире геоТЭС (50 МВт) построена тоже в США – геоТЭС Хебер.

В России геотермальные источники существуют на Камчатке, Курильских островах, в Сибири.

Рис. 122. Гейзеры в Исландии и геоТЭС Несьявеллир в Исландии
(URL: http://www.diets.ru/; http://dp-adilet.kz)

В России, в Камчатском крае, функционирует Мутновская геоТЭС, которая была построена в 1966 г. и является крупнейшей геотермальной электростанцией страны (рис. 123). Эксплуатацией станции занимается АО «Геотерм» – дочерняя компания ПАО «РусГидро». Станция расположена к северо-востоку от Мутновской сопки в юго-восточной части полуострова Камчатка на высоте около 800 м над уровнем моря, в 120 км на юго-запад от Петропавловска-Камчатского, на берегу реки Фальшивая.

Мутновская геоТЭС функционирует в составе центрального энергоузла Камчатской энергосистемы, работающей изолированно

от ЕЭС России. Энергоузел сформирован в южной части Камчатского края, где проживает основная часть населения. Синхронно с Мутновской геоТЭС работает Верхне-Мутновская геотермальная электростанция, Камчатские ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2, гидроэлектростанции каскада Толмачёвских ГЭС. Установленная электрическая мощность Мутновской геоТЭС на начало 2016 г. составляет 50 МВт, или всего 8% от общей установленной мощности электростанций Камчатского края. Выработка электроэнергии в 2015 г. – 344,0 млн кВт·ч, коэффициент использования установленной мощности – 78,5%. Выработка Мутновской геоТЭС покрывает 20% электропотребления Камчатского края.

Рис. 123. Мутновская геоТЭС, Камчатский край, Россия
(URL: http://www.marshruty.ru/)

Электроэнергия вырабатывается на двух конденсационных турбоагрегатах К-25-0,6 Гео, утилизирующих энергию пароводяной смеси месторождения. На Мутновских станциях пароводяная смесь поступает с геотермальных скважин по системе трубопроводов до площадки электростанции и уже там очищается и осушается на сепараторах, после чего поступает непосредственно в турбины. Отработанный энергоноситель закачивается обратно в пласт через систему отдельных скважин.

Мощность Мутновских геоТЭС выдаётся по единственной высоковольтной линии (ВЛ) класса 220 кВ Мутновская геоТЭС – Авача протяжённостью 80 км в одноцепном исполнении. Частые отключения этой линии и единственного автотрансформатора 220/110 кВ на подстанции Авача приводят к «запиранию» мощности электростанции. Возможность строительства второй цепи ВЛ 220 кВ для усиления связи с центральным энергоузлом Камчатского края рассматривается в случае строительства второй очереди станции.

Крупнейшие геоТЭС мира и их общие характеристики приведены в таблице 4.

Таблица 4

Геотермальные электростанции мира

Название, местоположение	Общие характеристики геотермальных электростанций
Гейзеры, США	Мощность – 1596000 кВт; 22 агрегата; ввод в эксплуатацию – 1985 г.
Серро-Прието, Мексика	Мощность – 620000 кВт; 9 агрегатов; ввод в эксплуатацию – 1987 г.
Тиви, Филиппины	Мощность – 330000 кВт; 6 агрегатов; ввод в эксплуатацию – 1982 г.
Макилинг-Банахао, Филиппины	Мощность – 330000 кВт; 6 агрегатов; ввод в эксплуатацию – 1984 г.
Лардерелло, Италия	Мощность – 185000 кВт; 11 агрегатов; ввод в эксплуатацию – 1949 г.
Уайракей, Новая Зеландия	Мощность – 140000 кВт; 8 агрегатов; ввод в эксплуатацию – 1978 г.
Камоджанг, Индонезия	Мощность – 140000 кВт; 3 агрегата; ввод в эксплуатацию – 1988 г.
Паужетская, Камчатка (Россия)	Мощность – 11000 кВт; 3 агрегата; ввод в эксплуатацию – 1980 г.

Гелиоэлектростанции. Три тысячи лет назад китайцы открыли, что при помощи вогнутых линз можно концентрировать солнечные лучи в один пучок и извлекать тем самым огонь. Много столетий спустя, примерно в V в. до нашей эры, древние греки независимо от китайцев разработали нечто подобное и в Греции, используя эти изобретения для облегчения разведения костра, для извлечения пламени, чтобы готовить еду.

В дневниках с чертежами великого Леонардо да Винчи можно найти доказательства серьезных амбиций и планов итальянского изобретателя относительно использования изогнутых зеркал для промышленного нагрева материалов. Жители Парижа и Лондона с благоговейным трепетом могли наблюдать, как многочисленные экспериментаторы фокусировали солнечные лучи в одной точке и тем самым плавили металлы и превращали куски стекла в стекловидное вещество.

В течение семнадцатого и восемнадцатого столетия произошло увеличение интереса к производству и использованию солнечной энергии ввиду все более массового внедрения стекла в повседневную жизнь. Люди все больше замечали столь поразительную способность стекла улавливать тепло солнечных лучей. В 1767 г. швейцарец Хорас Б. де Сауссуре – человек энциклопедических знаний – вызвался определить экспериментальным путем, насколько

эффективно стекло способно улавливать солнечный свет. Он сконструировал прямоугольный ящик из дерева, покрытый теплоизоляционной корой пробкового дерева по бокам, а вершину ящика сделал из стекла (рис. 124). Стекло поменьше он использовал для того, чтобы выстилать короб изнутри. Так как это устройство обладало способностью сохранять большое количество солнечного тепла, то его стали называть «горячая коробочка» или нагреваемый стержневой ящик. Он стал прототипом солнечного теплового коллектора, которые используются для нагревания воды и отопления жилищ.

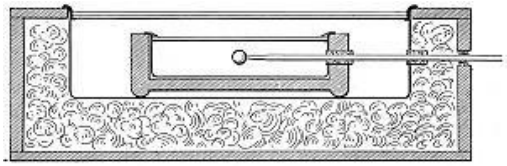


Рис. 124. Солнечная коробка Х. Б. Сауссуре
(URL: http://john-perlin.com/)

Проект нагреваемого стержневого ящика и сами ящики Хореса Б. Сауссуре были выполнены так здорово, что с поразительной точностью повторяли процесс глобального потепления на планете. В ящике именно стекло являлось движущей силой «потепления» и оно помещалось в атмосферу, чрезмерно богатую двуокисью углерода, тем самым препятствуя потере тепла солнца.

Встревоженный небывалым ростом подъема добычи и использования угля во время великой Индустриальной Революции, французский математик, почетный профессор Августин Мошо выступил с предупреждением: вскоре Европа столкнется с дефицитом топливных ресурсов ввиду широкомасштабного роста производства в условиях Индустриальной Революции. И тогда он сам же задается вопросом: а что будет дальше, и сам же отвечает: пора начать «подсекать» (рыболовный термин) солнечные лучи. Ловить их и использовать на нужды человека и производства. Мошо первым систематизировал и проштудировал то, что было сделано человечеством в области солнечной энергетики. Фантазия и исследования сподвигли его на создание вогнутого зеркала, бойлера с защитным покрывным стеклом в центре.

Экспонированное на солнце, это зеркало выпаривает достаточно воды, чтобы дать старт первому в мире паровому двигателю, работающему на солнечной энергии. Мошо на этом не остановился и стал строить более масштабные солнечные машины. В одном из своих экспериментов он умудрился воспроизвести электричество

путем выделения водорода и кислорода из воды и затем сохранял водород уже как топливный элемент, когда сияние солнца было недоступно (ночь, облачность, обильные осадки).

Американский изобретатель Аурби Энеас запустил три солнечных насоса, которые использовались для осушения земель, и все они работали в штате Аризона, который не богат традиционными видами топлива – ни древесины, ни угля, зато там полно ранчо, на которых широко использовались насосы. Именно здесь Энеас нашел потенциальный рынок для своей солнечной машины, чья высота измерялась шестью этажами и весом была без малого 4 т. Он представил прототип на страусиной ферме в Пасадене (Калифорния), где его установка накачала 1500 галлонов воды за минуту. Один из репортеров пророчески заметил: *«если солнечный двигатель способен качать воду, то недалек тот момент, когда он сможет молоть зерно, шлифовать пиломатериалы и приводить в движение электромобили»*.

Уиллаби Смит, инженер по электричеству из Англии, рассказал миру о светочувствительности селена. Ориентация его на солнце увеличивает электропроводимость материала. Данное открытие озадачило ученых. В 1876 г. два из них – британцы Уильям Грилл Адамс и Ричард Эванс Дэй обнаружили, что свет, падающий на селеновые трубки, выказал невиданный доселе эффект: он не нагревал материал, а создавал в нем электрический ток. Первооткрыватели нарекли этот ток «фотоэлектрическим». Сейчас он известен как фотогальванический эффект.

Американский изобретатель Чарльз Фритс соединил модули селена и поместил их на крышу одного из зданий в Нью-Йорке в середине 1880-х гг. Он с наивностью одержимого ученого предполагал, что вскоре его модули из селена будут конкурировать с новыми электростанциями Томаса Эдисона. В своем воображении Фритс рисовал себе картины, как его изобретение заменит паровые двигатели и положит конец загрязнению окружающей среды, что имеет место при использовании паровых машин и сжигании традиционных видов топлива.

Когда Чарльз Фритс осторожно предположил, что его солнечные панели на основе селениума в конце концов будут успешно конкурировать с электростанциями на угле Томаса Эдисона, он не имел ввиду строительство мощных электростанций. Он мыслил, что его модули дадут возможность «каждому домовладению иметь свою мини-электростанцию».

Но сколько бы они не пытались, ни один из них не смог увеличить низкий коэффициент конверсии солнечного света в электрическую энергию, и в итоге ученые заключили, что, по всей видимости, для обеспечения планеты солнечным электрическим током потребуется найти новые фотогальванические материалы.

Затем Дэрил Чапин, Калвин Фюллер и Джеральд Пирсон, работая над вновь обнаруженном силиконовым транзистором в лабораториях Bell, изобрели солнечный топливный элемент, который оказался способен трансформировать достаточно солнечной энергии в электрическую, чтобы обеспечить ежедневную потребность в электрическом токе лабораторного оборудования. *«Нью-Йорк Таймс»* сразу же окрестили новое изобретение *«началом новой эры, ведущей в конце концов к практической реализации одной из самых пестуемых мечтаний человеческой цивилизации – получение практически неисчерпаемой энергии солнца для нужд человека»*.

В конце XX в. в США и России был создан двухслойный полупроводниковый фотоэлемент из арсенида галлия, который преобразует в электричество видимую часть солнечного спектра, а инфракрасная часть спектра, проходящая через этот прозрачный слой, поглощается и преобразуется в электричество во втором слое – антимониде галлия или арсениде алюминия. В итоге КПД такого фотоэлемента составляет примерно 30-37%, что сопоставимо с КПД современных тепловых и атомных электростанций, а у обычных фотоэлементов в настоящее время КПД составляет 14-16%.

Солнечная энергия может быть преобразована в электрическую при помощи двух основных способов: термодинамического и фотоэлектрического.

При термодинамическом способе преобразования солнечной энергии в электрическую, последнюю можно получать с применением отлаженных типовых схем в тепловых электроустановках, в которых традиционно используемая теплота от сгорания топлива заменяется потоком концентрированного солнечного излучения.

Сегодня эксплуатируются солнечные теплоэлектростанции трех основных типов:

– башенного, с центральным приемником-парогенератором, на поверхности которого концентрируется солнечное излучение, получаемое от плоских зеркал-гелиостатов;

– параболического или лоткового, где в фокусе параболоцилиндрических концентраторов солнечного света размещаются вакуумные приемники – трубы с теплоносителем;

– тарелочного, когда в фокусе параболического тарелочного зеркала размещается приемник солнечной энергии с рабочей жидкостью.

Станции башенного типа состоят из пяти основных элементов: оптической системы; автоматической системы управления зеркалами и станцией в целом; парогенератора; башни, которая удерживает гелиоприемник, и системы преобразования энергии, включающей теплообменники, аккумуляторы энергии и турбогенераторы.

Так как для работы этой электростанции используется прямое солнечное излучение, поэтому концентрирующие гелиосистемы оснащаются системой слежения за Солнцем, благодаря которой каждый из гелиостатов самостоятельно ориентируется в пространстве.

Температура, получаемая на вершине башни с помощью зеркальных концентраторов, составляет 300-1500°С. В одном модуле получают мощность, не превышающую значения 200 МВт, что связано со снижением эффективности переноса энергии от наиболее удаленных концентраторов на вершину башни.

Проект первой в СССР Крымской СЭС был проработан в начале 80-х годов прошлого века. СЭС-5 была задумана как экспериментально функционирующая станция, основным назначением которой было выяснить особенности работы специфического оборудования, применяемого в работе электростанции, накопить опыт эксплуатации всех технологических систем, выявить недостатки схемы и отдельных элементов оборудования, тем самым получить возможность в процессе освоения СЭС-5 реконструировать несовершенные системы.

Структурно СЭС-5 (рис. 125) состояла из концентратора – поля солнечных гелиостатов, солнечного парогенератора, турбины, генератора, системы автоматического слежения за Солнцем и системы теплового аккумулирования.

В центре поля диаметром 500 м располагалась башня высотой 89 м, в верхней части которой находился паровой котел. Башню окружало поле из гелиостатов – зеркальных отражателей, каждый площадью 25 м^2. Каждый гелиостат, а всего их было 1600, был оборудован электрическими приводами зенитного и азимутального вращения. Управляющая работой ЭВМ при помощи электроприводов корректировала положение гелиостатов таким образом, чтобы в любой момент времени все отраженные солнечные лучи были направлены строго на котел.

После нагрева воды в котле при помощи зеркал, сфокусировавших и направивших на него солнечное излучение, пар из котла подавался на турбину, которая вращала ротор электрогенератора. Турбина и генератор находились на земле, в специальном помещении.

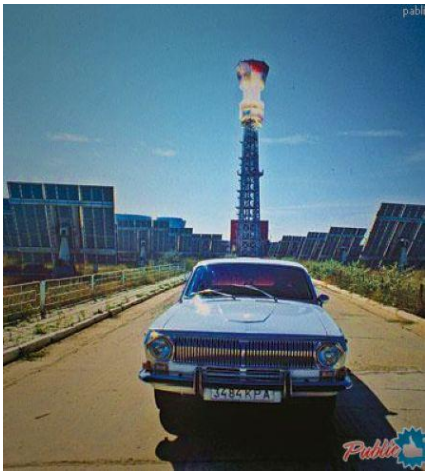


Рис. 125. Башня Крымской СЭС-5 и гелиостаты вокруг нее
(URL: http://greenevolution.ru/enc/wiki/krymskaya-ses/)

Еще одной частью электростанции был теплоаккумулятор, состоящий из двух емкостей для высокотемпературной пароводяной смеси, объемом по 1000 м^3 каждый. В случае плохой погоды, когда Солнце скрыто за облаками или же ночью, он был способен обеспечить работу станции на стандартной мощности в течение 3-4 ч, плюс еще около 10 ч в режиме пониженной мощности (примерно 50%). Проектная мощность станции составляла 5 МВт. Такая же мощность была у первой советской атомной электростанции, а полная установленная мощность всех солнечных электростанций мира на тот момент составляла 21 МВт.

Первое пробное включение генератора станции СЭС-5 в сеть состоялось в сентябре 1985 г. с функционирующими в тот период 420 гелиостатами, а полностью станция вступила в строй в 1986 г. Общая стоимость строительства СЭС-5 составила около 29 млн руб. За время работы до остановки солнечная электростанция выработала около 2 млн кВт·ч электроэнергии.

Уже после начала работы СЭС-5, в Минэнерго был разработан проект строительства комбинированной промышленной солнечно-топливной электростанции мощностью 320 МВт. Место для нее было выбрано в Узбекистане, в Каршинской степи, вблизи города

Талимарджана. Электростанция такого типа получалась гораздо экономичнее, чем обычные ТЭЦ.

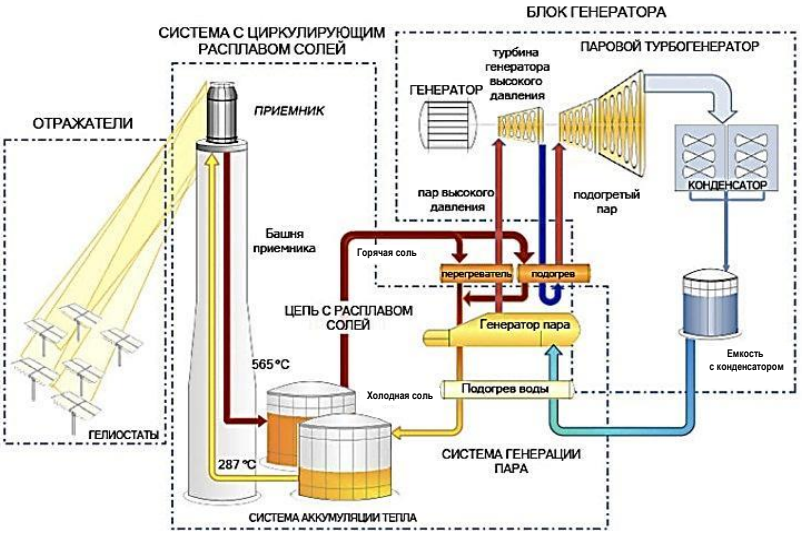
Но, к сожалению, СЭС-5 стала последней солнечной электростанцией СССР. После его распада, проработав пару лет, экспериментальная станция была закрыта за ненадобностью и отсутствием финансирования, зеркала гелиостатов и парогенератор сданы в металлолом. Единственное, что осталось – это руины башни да заброшенный гигантский «круг» зеркального поля.

Кроме солнечных установок для производства электричества, к концу 80-х годов XX в. в СССР в эксплуатации находились солнечные установки горячего водоснабжения с общей площадью около 150 тыс. м^2, а производство солнечных коллекторов доходило до 80 тыс. м^2 в год.

Демонстрационная солнечная термодинамическая электростанция «Solar Two» мощностью 10 МВт (рис. 126) работала и совершенствовалась с 1981 по 1999 гг. в пустыне Мохаве (Калифорния, США). Приемную башню этой станции окружали 1926 гелиостатов общей площадью 83000 м^2. Принцип ее работы был таков, что солнечный свет грел не воду, а промежуточный теплоноситель – расплавленную смесь нитратов натрия и калия, которая в свою очередь нагревала воду до кипения и образующийся при этом пар вращал турбины. В 1999 г. станция была переоборудована в гигантский детектор черенковского излучения для изучения воздействия космических лучей на атмосферу.

Сфокусированный свет от сотен больших зеркал столь ярок, что заставляет светиться пыль и влагу в воздухе, благодаря чему и видны лучи, окружающие красивую белую башню. На переднем плане видны стоящие рядом с зеркалами фотоэлектрические панели с концентраторами. Зеркала же, направленные на солнечную башню, с этого ракурса не видны.

А



б

Рис. 126. Солнечная термодинамическая электростанция «Solar Two»:

а – вид на станцию с высоты птичьего полета
б – структурная схема, поясняющая принцип работы
(URL: http://en.wikipedia.org, http://parsnip.evansville.edu)

Современная солнечная электростанция башенного типа была запущена 30 марта 2007 г. в районе Санлукар-ла-Майор (рис. 127) недалеко от Севильи (Испания). Бетонная башня высотой 115 м и окружающие ее 624 зеркала гелиостатов площадью 120 м^2 каждое обеспечивают паром паротурбинную установку мощностью 11 МВт, что достаточно для снабжения электроэнергией 6000 домов, и тем самым экономя 18000 т углеродных выбросов в год.

Рядом с действующей станцией построена еще одна (PS2), с расчетной мощностью 20 МВт, на которой установлено примерно 1255 зеркал. Ее запуск сократит выбросы CO_2 в атмосферу на 54 кт в год и обеспечит электроэнергией уже 18 000 домов. Установленные на площадке в Санлукар-ла-Майор различные по принципу действия солнечные установки будут иметь суммарную электрическую мощность 300 МВт, что достаточно для удовлетворения потребностей в электроэнергии такого города, как Севилья.

На этих солнечных электростанциях в Санлукар-ла-Майор компания Solucar тестирует и проверяет работоспособность самых

разнообразных технических решений и технологий. Проверяется работа параболических концентраторов с двигателями Стирлинга, а также протяженных параболических (в поперечном сечении) зеркал с трубами для разогрева теплоносителя.

а *б*

Рис. 127. Вид на электростанцию PS1 в Севилье (а); станцию PS1 с высоты птичьего полёта, на заднем плане видна площадка, на которой была построена PS2 (б)
(URL: https://www.medem.kiev.ua/)

Практика эксплуатации станций башенного типа доказала их техническую состоятельность, реализуемость и работоспособность. Основными недостатками таких теплоэлектростанций являются их высокая стоимость и большая площадь территории, которую они занимают. Например, для размещения башенной солнечной электростанции мощностью 100 МВт необходима площадь отчуждения 200 га.

Солнечная фотоэнергетика (фотовольтаическая энергетика) в своей работе реализует принцип прямого преобразования солнечного излучения в электрическую энергию. Действие фотоэлектрического преобразователя основывается на известных из курсов физики и электротехники внутреннего фотоэффекта в полупроводниках и эффекта деления фотогенерированных носителей зарядов (электронов и дырок) электронно-дырочным переходом или потенциальным барьером типа металл–диэлектрик–полупроводник. Известно, что фотоэффект имеет место, когда фотон (световой луч) падает на элемент, состоящий из двух материалов с разным типом электрической проводимости (дырочной или электронной). Попадая в такой материал, фотон выбивает электрон из его структуры, образуя тем самым свободный отрицательный заряд и положительную «дырку». В результате равновесие p-n-перехода нарушается и в цепи возникает перемещение заряженных частиц, то есть электрический ток.

Соединив смешанно (последовательно-параллельно) солнечные элементы, получают солнечную (фотоэлектрическую) батарею. Их эффективность зависит от положения ее фотоприемной поверхности по отношению к солнцу, при этом солнечные батареи резко снижают свою эффективность при перегреве, вырабатывают меньшее количество электроэнергии в пасмурную и облачную погоду. Мощность серийно выпускаемых промышленностью солнечных батарей составляет 50-200 Вт.

Срок службы такой станции составляет 20-30 лет, а эксплуатационные затраты минимальные. В мире насчитывается несколько крупных фотоэнергетических солнечных электростанций, которые имеют высокие показатели эффективности и демонстрируют стабильную работу с минимальным техническим обслуживанием.

Согласно государственной стратегии развития солнечной энергетики, до 2020 г. в России должны быть построены СЭС суммарной мощностью около 1,5 ГВт (в 2016 г. объем запланированных к вводу солнечных мощностей – около 200 МВт, в 2017 г. – 250 МВт, после 2018 г. – 270 МВт).

На территории Республики Крым в настоящее время расположено шесть СЭС общей мощностью 400 МВт (из них стабильно работающие четыре мощностью 227 МВт, остальные в опытно-промышленной эксплуатации).

На полуострове в 2010-2012 гг. построены четыре солнечных парка (СЭС) общей мощностью 227,3 МВт: «Родниковое» (7,5 МВт); «Охотниково» (82,65 МВт); «Перово» (105,6 МВт); «Митяево» (31,55 МВт). Также были построены СЭС «Николаевка» мощностью 69,7 МВт (введена в строй в августе 2015 г.) и «Владиславовка» мощностью 110 МВт (ввод в строй планировался в 2016 г.). С сентября 2015 г. установленная мощность пяти введённых в эксплуатацию солнечных электростанций составляет 297 МВт.

В 2015 г. в России построены 11 солнечных электростанций общей мощностью 55 МВт, а также завод фотоэлементов ООО «Хевел» в Новочебоксарске. Среди крупнейших СЭС помимо Батагайской мощностью 5 МВт в поселке Переволоцкий Оренбургской области, Бурибаевская (10 МВт), Орская (25 МВт), Абаканская (5,1 МВт), а также вторые очереди Кош-Агачской СЭС (5 МВт) в Алтае и Бугульчанской (5 МВт) в Башкирии.

Рис. 128. Кош-Агачская солнечная электростанция мощностью 5 МВт в Республике Алтай
(URL: http://www.hevelsolar.com/)

На рисунке128 представлена Кош-Агачская солнечная электростанция мощностью 5 МВт в Республике Алтай.

Крупнейшие солнечные станции термодинамического цикла и фотоэлектрические и их общие характеристики приведены в таблицах 5 и 6.

Таблица 5

Действующие солнечные термодинамические электростанции мира

Название станции, месторасположение	Общие характеристики и параметры солнечных термодинамических станций
1	2
Ivanpah Solar Electric Generating Station; Сан-Бернардино, Калифорния, США	Мощность – 397 МВт; тип СЭС – башенный; площадь 14,24 км^2; 173500 двухзеркальных гелиостатов окружают три 40-этажных башни (140 м); мощность турбины (брутто) – 392 МВт; выработка эл. энергии за год – 1079,2 ГВт·ч; ввод в эксплуатацию – 2014 г.
Solar Energy Generating Systems; пустыня Мохаве, Калифорния, США	Мощность – 354 МВт; тип СЭС – с параболоцилиндрическими концентраторами; площадь 6,47 км^2; состоит из девяти СЭС: шесть по 30 МВт, две – по 80 МВт, одна – 14 МВт; 936384 параболических зеркал; выработка эл. энергии за год – 662 ГВт·ч; предотвращается выброс 3,8 кт CO_2; ввод в эксплуатацию – 1984 г.
Mojave Solar Project; Барстоу, Калифорния, США	Мощность – 280 МВт; тип СЭС – с параболоцилиндрическими концентраторами; площадь 7 км^2; два независимых поля по 1128 солнечных коллекторов; каждое поле генерирует 125 МВт; мощность турбины (брутто) – 280 МВт; выработка эл. энергии за год – 617 ГВт·ч, предотвращается выброс 430 кт CO_2; ввод в эксплуатацию – 2014 г.
Solana Generating Station; Аризона, США	Мощность – 280 МВт; тип СЭС – с параболоцилиндрическими концентраторами; площадь 7,8 км^2; 2700 параболических зеркал; две турбины по 140 МВт; выработка эл.энергии за год – 944 ГВт·ч; предотвращается выброс 475 кт CO_2; хранилище тепла на 6 ч; ввод в эксплуатацию – 2013 г.
Genesis Solar Energy Project; Блайт, Калифорния, США	Мощность – 250 МВт; тип СЭС – с параболоцилиндрическими концентраторами; площадь 7,89 км^2; две секции по 125 МВт; мощность турбины – 250 МВт; 1840 солнечных коллектора; выработка эл. энергии за год – 621 ГВт·ч; ввод в эксплуатацию – 2014 г.
Solaben Solar Power Station (S1, S2, S3 и S6); Логросан, Испания	Мощность – 200 МВт; тип СЭС – с параболоцилиндрическими концентраторами; на S1, S2, S3 и S6 – турбины мощностью по 50 МВт, 12960 солнечных коллектора, площадь – 1,1 км^2, выработка эл. энергии за год – 100 ГВт·ч; ввод в эксплуатацию – S3 и S2 – 2012, S1 и S6 – 2013 гг.
Ouarzazate (Ou1; Ou2; Ou3) Марокко	Мощность – 510 МВт (пиковая – 580 МВт); тип СЭС: Ou1; Ou2 – с параболоцилиндрическими концентраторами; Ou3 – башенного типа; общая площадь 25 км^2; Ou1 – 4,8 км^2, 160 МВт, хранилище на 3 ч; 500 000 гелиостатов, 370 ГВт·ч; Ou2 – 6,8 км^2, 200 МВт, 600 ГВт·ч, хранилище на 5-7 ч; Ou3 – 7,5 км^2, 150 МВт, 500 ГВт·ч, хранилище на 6-8 ч; ввод в эксплуатацию Ou1 – 2016; Ou2 – 2017; Ou3 – 2018 гг.

Окончание табл. 5

1	2

Andasol Solar Power Station (A1, A2, A3); Гуадикс, Испания	Мощность – 150 МВт; тип СЭС – с параболоцилиндрическими концентраторами; А1 – 1,99 км^2, 50 МВт, за год – 158 ГВт·ч; А2 – 1,99 км^2, 50 МВт, за год – 158 ГВт·ч; А3 – 1,99 км^2, 50 МВт, за год – 175 ГВт·ч; тепловое хранилище на 7,5 часов; ввод в эксплуатацию А1 – 2008, А2 – 2009, А3 – 2011 гг.
KaXu Solar One; ЮАР	Мощность – 100 МВт; тип СЭС – с параболоцилиндрическими концентраторами; площадь 10,9 км^2; 336000 зеркала; выработка эл.энергии за год – 320 ГВт·ч; предотвращается выброс 138 кт CO_2; имеется хранилище на 2,5 ч; ввод в эксплуатацию – 2013 г.

Таблица 6

Действующие фотоэлектрические станции мира

Название станции; месторасположение	Общие характеристики и параметры солнечных фотоэлектрических станций
1	2
Solar Star; Калифорния, США	Пиковая мощность – 586 МВт; площадь гелиополя – 13 км^2; 3800000 солнечных панелей, 20% из которых имеют систему слежения за Солнцем; предотвращается выброс 561 кт CO_2; ввод в эксплуатацию – 2015 г.
Topaz Solar Farm; Калифорния, США	Пиковая мощность – 550 (250 и 300) МВт; площадь гелиополя – 25,6 км^2; 9000000 тонкопленочных солнечных панелей из теллурида кадмия; предотвращается выброс 394 кт CO_2; ввод в эксплуатацию – 2014 г.
Desert Sunlight Solar Farm; пустыня Мохаве, Калифорния, США	Пиковая мощность – 550 МВт; площадь гелиополей – 15,5 км^2; 8800000 тонкопленочных солнечных панелей из теллурида кадмия; ввод в эксплуатацию – 2015 г.
Longyangxia Hydrosolar PV Station, Китай	Пиковая мощность – 480 МВт; ввод в эксплуатацию – 2015 г.
Agua Caliente Solar Project; Аризона, США	Пиковая мощность – 290 МВт; площадь гелиополя – 9,7 км^2; около 500000 солнечных панелей; выработка эл.энергии за год – 626,219 ГВт·ч; предотвращается выброс 223 кт CO_2; ввод в эксплуатацию – 2014 г.
Mount Signal Solar 1; округ Империал, Калифорния, США	Пиковая мощность – 266 МВт; площадь гелиополя – 7,9 км^2; более 3000000 солнечных панелей; самая мощная СЭС в мире, использующая технологию ориентации в течение дня модулей по Солнцу (одноосные трекеры); предотвращается выброс 356 кт CO_2; ввод в эксплуатацию – 2014 г.

Окончание табл. 6

1	2
Charanka Solar Park, Гуджарат, Индия	Пиковая мощность – 221 МВт; часть солнечного парка штата Гуджарат; площадь гелиополей 19,8 км^2; состоит из 17 фотоэлектрических генерирующих полей, самое крупное – 25 МВт; выработка эл. энергии за год – 500 ГВт·ч; ввод в эксплуатацию – 2012 г.

Golmud PV power plant; провинция Цинхай, Китай	Пиковая мощность – 200 МВт; площадь гелиополя 5,64 км^2; выработка эл. энергии за год – 317,2 ГВт·ч; ввод в эксплуатацию – 2014 г.
Solarpark Senftenberg/Muero Schipkau; Шипкау, Германия	Пиковая мощность – 166 МВт; 636000 солнечных панелей; солнечный парк введен в работу в 2012 г. и построен на месте угольной шахты
Neuhardenber Solar Park, Германия	Пиковая мощность – 145 МВт; площадь солнечного парка – 2,4 км^2; 600000 солнечных панелей; предотвращается выброс 20 кт CO_2; ввод в эксплуатацию – 2013 г.
Centrale solaire de Toul-Rosières, Франция	Пиковая мощность – 115 МВт; площадь гелиополя – 3,67 км^2; 1400000 солнечных панелей; выработка эл. энергии за год – 139 ГВт·ч; ввод в эксплуатацию – 2012 г.
Solar PV power plant Tambol Huawai, Тайланд	Пиковая мощность – 126 МВт; ввод в эксплуатацию – 2013 г.
Перово, Крым	Пиковая мощность – 105,56 МВт; площадь гелиополя – 2,0 км^2; 455532 солнечных панелей; выработка эл. энергии за год – 132,5 ГВт·ч; ввод в эксплуатацию – 2011 г.
Amanecer Solar, пустыня Атакама, Чили	Пиковая мощность – 100 МВт; более 310000 солнечных панелей; ввод в эксплуатацию – 2014 г.

Приливные гидроэлектростанции (ПЭС). Энергия приливов использовалась людьми издавна путем устройства приливных мельниц на побережье Англии, Франции, Испании, России, Канады, США и других стран. Такие сооружения выполнялись за счет образования бассейна при перекрытии плотинами небольших бухт, где располагались мельничные колеса, работавшие в период отлива. Диаметры колес достигали 6 м. В Англии подобная установка под арками Лондонского моста с 1580 г. в течение 250 лет качала пресную воду для водоснабжения.

Энергию приливов на Руси научились использовать в XVI в. Первые упоминания о приливных мельницах, разбросанных по берегам Онежского полуострова, где высота прилива не превышала 3,5 м, встречаются в жалованных грамотах Ивана Грозного. В Архангельской губернии на энергии приливов работали несколько лесопилок купца Баженина, поставлявшего доски для строительства петровского флота.

Приливные гидроэлектростанции вырабатывают электрическую энергию за счет использования потенциальной энергии приливов и отливов моря. Величина прилива (в результате притяжения Луны) в разных местах Земли неодинакова: у берегов Америки она составляет 21 м, у берегов Франции и Англии – порядка 15 м, у берегов России – 8-11 м на Белом и Охотском морях. Установлено,

что использовать энергию приливов целесообразно уже при 3-4 м высоты прилива.

Приливные станции строят в бухтах с узким проходом. Перегораживают вход плотиной и в ней устанавливают гидрогенераторы. Во время прилива и отлива вода по трубам подходит к гидротурбинам и вращает их, а следовательно, и электрогенератор, сидящий на одном валу с турбиной.

Для ПЭС используют обратимые турбины, когда вращение непрерывно при любом направлении движения воды.

Приливы для вращения мельничных колес использовались 1000 лет тому назад в Испании, Франции, Англии.

ПЭС работают в Китае, во Франции, в России (Кислогубская ПЭС (рис. 129) на Баренцевом море имеет мощность 1200 кВт) и других странах.

Рис. 129. Кислогубская приливная гидроэлектростанция
(URL: http://expo2012korea.ru/science/energiya-i-resursy-okeana/)

Крупнейшие действующие приливные электростанции мира и их общие характеристики приведены в таблице 7.

Таблица 7

Действующие приливные электростанции мира

Название, местоположение	Общие характеристики приливных электростанций
Ла-Ранс; Франция	Мощность – 240000 кВт; 24 турбины; ввод в эксплуатацию – 1967 г.
Аннаполис; Канада	Мощность – 20000 кВт; 1 турбина; ввод в эксплуатацию – 1984 г.
Джянгксия; Китай	Мощность – 3900 кВт; 6 турбин; ввод в эксплуатацию – 1986 г.
Байсхакоу; Китай	Мощность – 640 кВт; 4 турбины; ввод в эксплуатацию – 1985 г.
Кислогубская; Россия	Мощность – 400 кВт; 1 турбина; ввод в эксплуатацию – 1968 г.

Ветровые электростанции (ВЭС). Эти станции используют энергию ветра. Энергия ветра используется человечеством уже несколько тысячелетий, но для выработки электроэнергии, в основном, в XX в.

Первые в мире ветряные мельницы были изобретены и построены в Персии приблизительно в V в. н.э. Деревянные конструкции с длинным вертикальным карданным валом и парусами из тростника или ткани широко применялись как при переработке сахарного тростника, так и в бытовых целях. Идея получила широкое распространение по всему Ближнему Востоку и Азии, а затем перекочевала и в Европу. В Иране до сих пор работает одна из древнейших систем персидских ветряных мельниц, созданная еще в VII-X вв. (рис. 130). Мельницы размещены в городе Наштифан (Nashtifan), в 30 км от границы с Афганистаном. Название населенного пункта Nish Toofan переводится как «жало шторма», так как для этого региона характерны сильные ветра – до 119 км/ч.

Мельницы описанного типа в XIII в. были скопированы и принесены в Европу крестоносцами. Мельницы на козлах, или так называемые немецкие мельницы, интенсивно эксплуатировались до середины XVI века. Масса козловой мельницы была ограниченной из-за того, что её приходилось поворачивать вручную. В связи с этим была ограниченной и её производительность. После усовершенствования такие мельницы получили название шатровых.

Рис. 130. Древнейшие системы персидских ветряных мельниц, которые находятся в Иране в городе Наштифан
(фото National Geographic, YouTube)

В XVI в. в городах Европы начали строить водонасосные станции с использованием гидродвигателя и ветряной мельницы: Толедо – 1526 г., Глостер – 1542 г., Лондон – 1582 г., Париж – 1608 г. и так далее.

В Нидерландах многочисленные ветряные мельницы откачивали воду с земель, ограждённых дамбами, чтобы отвоёванные у моря участки суши можно было использовать в сельском хозяйстве. В засушливых областях Европы ветряные мельницы применялись для орошения полей.

В XVI в. экономический расцвет Голландии был определен развитием именно ветроэнергетики. Первоначально голландцы использовали ветряки для осушения польдеров – отвоеванных у моря земель, а затем приспособили их для приводов лесопилок и других производств, поэтому в Европе того времени Голландия была самой энерговооруженной страной.

В России ветряные установки использовались в основном для помола зерна, и до революции их насчитывалось около 200000 – они перемалывали более 2 млрд пудов зерна в год.

Ветряные мельницы, производящие электричество, были изобретены в XIX в. в Дании. Там в 1890 г. была построена первая ветроэлектростанция, а к 1908 г. насчитывалось уже 72 станции мощностью от 5 до 25 кВт. Крупнейшие из них имели высоту башни 24 м и четырёхлопастные роторы диаметром 23 м.

К началу прошлого века в вопросе использования энергии ветра Россия была в числе самых передовых стран. У нас крутилось более 250 тыс. ветряных мельниц, а их общая мощность зашкаливала за гигаватт. В 1918 г. русский профессор В. Залевский создал «полную теорию ветряных мельниц». Хотя правильнее было бы назвать эту работу «теорией ветровых двигателей», поскольку собственно мельничного дела, то есть процесса помола зерна, профессор в ней не касался. Зато в теории был сформулирован ряд требований к эффективно функционирующей ветроустановке. Чуть позже другой известный русский ученый, Николай Жуковский, организовал в основанном им Центральном аэрогидродинамическом институте (ЦАГИ) отдел ветровых двигателей. К этому времени уже стало ясно, что из ветра можно извлекать не только механическую, но и электрическую энергию.

В середине 1920-х годов ЦАГИ разрабатывал ветроэлектрические станции и ветряки для сельского хозяйства. Конструкция «крестьянского ветряка» могла быть изготовлена на месте из доступных материалов. Его мощность варьировалась от 3 до 45 л.с., и такая ветроэнергетическая установка могла освещать 150-200 дворов или приводить в действие мельницу. Для обеспечения постоянства её работы был предусмотрен гидравлический аккумулятор.

Отрасль начала стремительно развиваться и в 30-х годах XX в. Советский Союз был «впереди планеты всей» в использовании

энергии ветра. Именно тогда было освоено производство разнообразных ветроустановок мощностью 3-4 кВт, которые выпускались целыми сериями. Первая в СССР ветровая электростанция мощностью 8 кВт была сооружена в 1929-1930 гг. под Курском по проекту инженеров А. Г. Уфимцева и В. П. Ветчинкина. В 1931 г. в Балаклаве заработала крупнейшая на тот момент в мире сетевая ветроэнергетическая установка Д-30 мощностью 100 кВт с башней высотой 30 м (рис. 131).

Опорная конструкция установки Д-30 (мачта) была построена по проекту В. Т. Шухова. Вслед за ней на юге страны были установлены десятки подобных ветрогенераторов. В 1934 г. под руководством Ю. В. Кондратюка был подготовлен проект гигантской 12-мегаваттной ВЭС на горе Ай-Петри с башней высотой 165 м и двумя 80-метровыми ветроколесами, размещенными на двух уровнях. Идею поддержал лично нарком Орджоникидзе, и уже в 1936 г. в Крыму начались строительные работы. Однако на следующий год, после кончины Орджоникидзе, противники Кондратюка добились сокращения проекта до одноуровневой 5-мегаваттной установки, а в 1938 г. Главэнерго приняло решение прекратить строительство и вообще свернуть любые работы по созданию мощных ВЭС. С 1950 по 1955 г. страна производила до 9 тыс. ветроустановок в год единичной мощностью до 30 кВт.

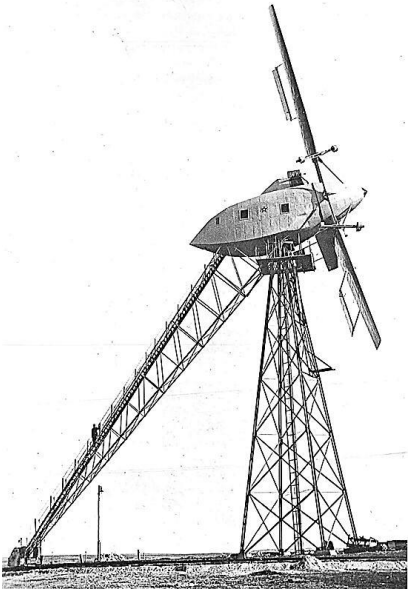


Рис. 131. Балаклавская ВЭС Д-30 самая большая по мощности

В годы освоения целины в Казахстане была сооружена первая многоагрегатная ветроэлектростанция, работавшая в паре с дизелем, общей мощностью 400 кВт – прообраз современных европейских ветропарков и систем генерации «ветродизель».

В период с 1940-х по 1970-е годы ветроэнергетика пережила период упадка в связи с интенсивным развитием передающих и распределительных сетей, дававших независимое от погоды энергоснабжение за умеренные деньги. Окончательно интерес энергетиков к ветру пропал к началу 1960-х. «Нефтяное» электричество было настолько дешевым и удобным, что тягаться с ним стало сложно. Хотя ветер и оставался бесплатным энергоресурсом, производство из него электричества вовсе не отличалось дешевизной. С учетом 20-30-летнего срока службы ветроустановок себестоимость электроэнергии доходила на рубеже 1970-х и 1980-х гг. до 40 центов за 1 кВт·ч, в то время как 1 кВт·ч, снимаемый с обычной теплоэлектростанции, стоил менее 4 центов.

Возрождение интереса к ветроэнергетике началось после нефтяного кризиса 1973 г., который продемонстрировал зависимость многих стран от импорта нефти и привел к поиску вариантов снижения этой зависимости. В середине 1970-х в Дании начались испытания предшественников современных ветрогенераторов. Позднее чернобыльская катастрофа стимулировала интерес к возобновляемым источникам энергии как экологически чистым технологиям производства энергии.

Технический потенциал ветровой энергии России оценивается цифрами более 50 000 млрд кВт·ч/год. Экономический потенциал составляет примерно 260 млрд кВт·ч/год, что составляет около 30% производства электроэнергии всеми электростанциями России.

Энергетические ветровые зоны в России расположены, в основном, на побережье и островах Северного Ледовитого океана от Кольского полуострова до Камчатки, в районах Нижней и Средней Волги и Дона, побережье Каспийского, Охотского, Баренцева, Балтийского, Чёрного и Азовского морей, отдельные ветровые зоны находятся в Карелии, на Алтае, в Туве, на Байкале.

Максимальная средняя скорость ветра в этих районах приходится на осенне-зимний период – период наибольшей потребности в электрической и тепловой энергии. Около 30% экономического потенциала ветроэнергетики сосредоточено на Дальнем Востоке,

14% – в Северном экономическом районе, около 16% – в Западной и Восточной Сибири.

Чаще всего изготавливают ветродвигатели крыльчатого типа. Диаметр крыльев бывает от 8 до 30 м и более, а мощность таких установок от 1 до 1000 кВт и более.

Мощность ветрового двигателя определяют скорость ветра и коэффициент полезного действия установки.

В России работает несколько десятков тысяч ветродвигателей, и конструкции их непрерывно совершенствуются.

В период полной работы ветра электрическая энергия аккумулируется с последующей отдачей в период безветрия.

а

б

Рис. 132. Куликовская ВЭС (Калининградская область) (а) и Чукотская ВЭС (б)

(URL: http://images.esosedi.ru/; http://promvest.info/ru/regionalnyiy-potentsial/)

Крупнейшие действующие ветроэлектростанции мира и России, и их общие характеристики приведены в таблицах 8 и 9.

Таблица 8

Некоторые из крупных действующих ветроэлектростанций мира

Название, местоположение	Общие характеристики и параметры ветроэлектростанций
1	2
«Gansu Wind Farm»; Цзюцюань, провинция Ганьсу, Китай	Планируемая мощность 20 ГВт; I этап (2009 г.) 3,8 ГВт – 18 ВЭС по 200 МВт и 2 ВЭС по 100 МВт; II этап (2015 г.) 8 ГВт – 40 ВЭС по 200 МВт; рост мощности: 5,16 ГВт – 2010 г.; 12,71 ГВт к 2015 г.; 20 ГВт к 2020 г.
«Muppandal Wind Farm»; Каньякумари, штат	Установленная мощность 1500 МВт (на момент ввода в эксплуатацию вырабатывалось 1,6% от всей энергии

Тамил Наду, Индия	в стране); 3000 ветротурбин; ввод в эксплуатацию – 2011 г.
«Alta Wind Energy Center»; перевал Техачапи, штат Калифорния, США	Номинальная мощность 1547 МВт; площадь ветропарка 36 км^2; предотвращается выброс 520 кт CO_2; годовая выработка электроэнергии – 2680,6 ГВт·ч; ввод в эксплуатацию – 2010 г.
«Jaisalmer Wind Park»; Джацсалмер, штат Раджастан, Индия	Установленная мощность 1064 МВт; на станции установлены ветротурбины Suzlon, Gamesa мощностью от 350 кВт до 2,1 МВт; ввод в эксплуатацию – 2001 г.
«Shepherds Flat Wind Farm»; Арлингтон, штат Орегон, США	Установленная мощность 845 МВт; каждая турбина General Electric GE2.5XL мощностью 2,5 МВт; площадь ветропарка 78 км^2; годовая выработка электроэнергии – 2000 ГВт·ч; ввод в эксплуатацию – 2012 г.

Окончание табл. 8

1	2
«London Array»; устье Темзы, в 20 км от берега, Великобритания,	Установленная мощность 630 МВт; 175 ветротурбин Siemens SWT-3,6; предотвращается выброс 900 кт CO_2; ввод в эксплуатацию – 2013 г.
«Gemini Wind Farm»; в море в 85 км к северу от города Гронинген, Нидерландов	Проектная мощность 600 МВт; 150 ветротурбин Siemens SWT-4,0; ввод в эксплуатацию – 2017 г.

Таблица 9

Действующие ветроэлектростанции России

Название, местоположение	Общие характеристики и параметры ветроэлектростанций
Останинская ВЭС; Крым	Установленная мощность 25 МВт; собственник – ООО «Ветряной парк Керченский»
Тарханкутская ВЭС; Крым	Установленная мощность 22,45 МВт; 127 ветрогенераторов типа USW 56-100 и более 4 (возможно 7) – Т-600-48; собственник – ГУП РК «КГС»
Сакская ВЭС; Крым	Установленная мощность 20,82 МВт; 161 ветрогенераторов типа USW 56-100 и 3 ветроустановки типа Т-600-48; собственник – ГУП РК «КГС»
Пресноводненнская ВЭС; Крым	Установленная мощность 7,39 МВт; собственник – ГУП РК «КГС»
Донузловская ВЭС; Крым	Установленная мощность 6,78 МВт; 97 ветрогенераторов типа USW 56-100 и две – типа Т 600-48; собственник – ГУП РК «КГС»
Зеленоградская ВЭУ; Калининградская область	Установленная мощность 5,1 МВт; один ветрогенератор марки Wind World 4200/600 мощностью 0,6 МВт и 20 – Vestas V27/225 мощностью 0,225 МВт; собственник – ОАО «Калининградская генерирующая компания»
Судакская ВЭС; Крым	Установленная мощность 3,76 МВт; 58 ветрогенераторов типа USW 56-100; собственник – ГУП РК «КГС»
ВЭС п. Октябрьский; Камчатский край	Установленная мощность 3,3 МВт; собственник – АО «Камчатские электрические сети им. И.А. Пискунова»

ВЭС с. Тамар-Уткуль; Оренбургская область	Установленная мощность 2,725 МВт; собственник – ООО «ЭкоСельЭнерго»
ВЭС Тюпкильды; Республика Башкортостан	Установленная мощность 2,2 МВт; 4 ветрогенерирующих установки ЕТ 550/41 мощностью 0,55 МВт; годовая выработка электроэнергии – 0,2 ГВт·ч; собственник – ООО «Башкирская генерирующая компания»

Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС) (рис. 133). Для работы таких станций необходимо иметь два водохранилища – верхнее и нижнее, расположенных друг от друга по высоте на 40-600 м. Между водохранилищами проложены трубы, по которым перекачивается вода с помощью насосов. В часы малого потребления энергии, обычно ночью, свободная электрическая энергия станции тратится на работу электродвигателей насосов, поднимающих воду из нижнего водохранилища в верхнее водохранилище.

Рис. 133. Кубанская гидроаккумулирующая электростанция
(URL: http://www.stapravda.ru/photo/bezopasnost_gidrotekhnicheskikh_sooruzheniy_obsudili_na_zasedani_65270/)

В часы пик (большого потребления электроэнергии) гидроаккумулирующая электростанция работает в разрядном гидротурбинном режиме, когда вода из верхнего водохранилища по трубам переходит в нижнее. Изменение режима из насосного в турбинное, или наоборот, происходит за 1,5-3 мин КПД таких станций составляет 70-75%.

Крупнейшие действующие гидроаккумулирующие электростанции мира и России, и их общие характеристики приведены в таблице 10.

Атомные электростанции (АЭС). На АЭС для получения электроэнергии и тепла используют ядерное горючее.

В качестве топлива на АЭС применяется вещество, способное к самопроизвольному расщеплению ядер атомов с выделением энергии в виде тепла.

Важнейшим ядерным топливом являются тяжелые элементы: уран-235, уран-233, плутоний-239.

Расщепление ядер урана-235 происходит под воздействием нейтронов по цепной реакции, при этом выделяется большое количество тепловой энергии (~ 83%) и так называемого ядерного излучения (~ 17%).

Таблица 10

Некоторые из крупных действующих гидроаккумулирующих электростанций мира и России

Название	Местоположение	Установленная мощность, МВт	Год пуска в эксплуатацию
Баоцюань	Китай	1200	2011
Бас Каунти	США	3003	1985
Бленхейм-Джильбао	США	1160	1973
Бэд Крик	США	1065	1991
Вианден	Люксембург	1096	1962
Гольдисталь	Германия	1060	2003
Гуандун	Китай	2400	2000
Динорвиг	Великобритания	1728	1984
Дракенсберг	ЮАР	1000	1981
Загорская ГАЭС	Россия	1200	1987
Исин	Китай	1000	2008
Кастайк (Пирамид Лейк)	США	1566	1973
Ку-Труа-Пон	Бельгия	1164	1969
Лудингтон	США	1872	1973
Днестровская ГАЭС	Украина	972	2009
Круонисская ГАЭС	Литва	900	1992
Зеленчукской ГЭ-ГАЭС	Россия	300	1999/2002/2016
Кубанская ГАЭС	Россия	15,9	1968-1969

На атомной станции главным является ядерный реактор – громадный металлический цилиндр. Внутри реактора находятся стержни с ядерным топливом – ТВЭЛы, графитовые стержни и трубы с водой. В урановых стержнях идет деление ядер, а графитовые стержни поглощают «лишние» нейтроны и удерживают реакцию деления ядер на нужном уровне.

Энергия, полученная при делении ядер, нагревает воду (или другой теплоноситель, например, металлический натрий). Насосы гонят горячий теплоноситель из реактора в парогенераторы.

Устройство парогенератора (пароперегревателя) – труба в трубе большего диаметра. Во внутренней трубе течет горячая вода из реактора, а по наружной трубе навстречу ей – вода из холодильника. Тепло от горячей воды передается холодной, она нагревается, закипает и превращается в пар.

Пар подается на лопатки турбины, она начинает вращаться и приводит во вращение вал (ротор) электрогенератора. Отдав тепло, реакторная вода снова возвращается в реактор, снова нагревается и снова идет в парогенератор. Кольцо, по которому она проходит, называется первым контуром. Пар, раскрутивший турбину, идет в холодильник. Там он охлаждается и превращается в воду. Вода опять поступает в парогенератор (наружную трубу), а затем снова превращается в пар. Это второе кольцо с водой и паром называется вторым контуром.

Управление цепной реакцией деления осуществляется с помощью регулирующих стержней из материалов, сильно поглощающих нейтроны. Это может быть бористая сталь.

При опускании таких стержней в активную зону реактора реакция замедляется вплоть до полного ее прекращения, и, наоборот, при поднятии стержней из зоны скорость реакции и мощность реактора увеличиваются.

Для обеспечения безопасности реактора существуют еще и аварийные стержни, которые в течение 1-2 с падают в активную зону и останавливают цепную реакцию.

Все ядерные реакторы имеют специальную биологическую защиту, чтобы предохранить обслуживающий персонал от опасных радиоактивных излучений, которые вызывают ионизацию молекул клеток.

Коэффициент полезного действия АЭС на медленных нейтронах обычно составляет 25-35%.

Первая в мире атомная электростанция вступила в строй в России в 1954 г. в городе Обнинске.

По расчетам ученых 1 кг ядерного топлива при полном его использовании заменяет 2 000 т угля.

Топливо АЭС – обогащенный уран. В ядерном реакторе в процессе работы накапливается плутоний, который может делиться под воздействием нейтронов с выделением энергии. В результате реакции в ядерном топливе накапливаются продукты деления и трансмутации, многие из которых высокорадиоактивны, а некоторые имеют период полураспада десятки, сотни и даже тысячи и миллионы лет – это долгоживущие радиоактивные отходы, которые нужно захоранивать в надежных могильниках.

В инфраструктуру замкнутого ядерного топливного цикла входят следующие производства: 1) добыча и обогащение урановых руд и производство естественного урана; 2) радиохимическая переработка отработавшего ядерного топлива; 3) захоронение радиоактивных отходов.

В России строительство АЭС базируется на корпусных реакторах с водой под давлением – ВВЭР (водо-водяной энергетический реактор) и кипящих канальных уран-графитовых реакторах – РБМК (реактор большой мощности кипящий).

Принцип работы этих атомных реакторов одинаков – внутри реактора располагают тепловыделяющие элементы – ТВЭЛы, которые состоят из металлической трубки из сплава циркония, заполненной смесью урана-235 и урана-238.

В реакторе ВВЭР все ТВЭЛы помещены в стальной корпус, заполненный водой, которая непосредственно соприкасается с ТВЭЛами и охлаждает их. Тепло атомного реактора нагревает воду под высоким давлением, она становится радиоактивной. Поэтому эта вода направляется в промежуточный парогенератор, где вода второго контура превращается в пар, направляемый в турбину.

Реактор РБМК заполнен графитовыми блоками, внутри которых сделаны отверстия. В них помещены тонкостенные трубы (рабочие каналы) из циркония, в которых устанавливаются ТВЭЛы. Через трубы циркулирует вода под давлением, она отводит тепло от ТВЭЛов и при этом частично испаряется. Это канальный реактор, а ВВЭР – корпусной. ВВЭР получили более широкое распространение, чем РБМК.

Преимуществом РБМК является возможность замены ТВЭЛов без остановки реактора.

Первоначальные затраты при строительстве АЭС в 1,5-2 раза выше, чем при строительстве ТЭЦ, но себестоимость электроэнергии ниже в 1,3-1,7 раз. Первый атомный реактор был построен под руководством И.В. Курчатова (рис. 134, *а*). В создании АЭС большие заслуги принадлежат ученым А. П. Александрову, Н. А. Доллежалю (рис. 134, *б*) и другим.

Главной особенностью энергетических реакторов на быстрых нейтронах является возможность получить не только тепловую и электрическую энергию, но и одновременно воспроизводить новое ядерное топливо. Основным топливом в реакторах на быстрых нейтронах является искусственный химический элемент плутоний-239 и «пассивный» уран-238.

а *б*

Рис. 134. Игорь Васильевич Курчатов (1902-1960 гг.) (а) и Николай Антонович Доллежаль (1899-2000 гг.) (б)
(URL: https://ru.wikipedia.org/)

Тепловая энергия в реакторе на быстрых нейтронах получается за счет деления ядер плутония, при этом часть образующихся нейтронов захватывается (поглощается) ураном-238 и он превращается в плутоний-239. Вновь образуемый плутоний является ядерным горючим. Кроме этого в реакторе образуется избыток нового плутония по сравнению с выгорающим, и он может быть извлечен из данного реактора и направлен для использования в другой реактор. В результате этого процесса возможно использование почти всего урана-238.

В 1972 г. первой в мире была введена в эксплуатацию АЭС в городе Шевченко с реактором БН-350 на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем, мощностью 350 МВт. На Белоярской АЭС пущен в эксплуатацию энергоблок на быстрых нейтронах БН-600 мощностью 600 МВт.

В качестве теплоносителя и охладителя реактора на БН применяется жидкий металл – натрий, который в последующем контуре отдает свое тепло воде, превращая ее в пар, поступающий в паровую турбину; далее цикл превращения энергии пара в электричество происходит обычным путем.

Теплоноситель натрий не должен нигде соединиться с водой, иначе произойдет взрыв. Вместо натрия проектируется в дальнейшем использовать гелий или диссоциирующий газ.

Таблица 11

Некоторые из крупных действующих атомных электростанций мира и России

Название	Местоположение	Установленная мощность, МВт
АЭС Кашивадзаки-Карива	Япония	7965
АЭС Брюса	Канада	6384
Кори АЭС	Южная Корея	6040
Запорожская АЭС	Украина	6000
АЭС Хануль	Южная Корея	5900
АЭС Гравелин	Франция	5460
АЭС Палюэль	Франция	5320
АЭС Охи	Япония	4494
Ленинградская АЭС	Россия	4200
АЭС Palo Verde	США	4174
Балаковская АЭС	Россия	4000
Ростовская АЭС	Россия	4000
Курская АЭС	Россия	4000
Калининская АЭС	Россия	4000
АЭС Хамаока	Япония	3617
Смоленская АЭС	Россия	3000
Белоярская АЭС	Россия	1400

Крупнейшие действующие атомные электростанции мира и России, и их общие характеристики приведены в таблице 11.

4.6. Развитие энергетики в России

В России создавались электростанции в конце XIX и начале XX вв., однако, бурный рост важнейшей составляющей развития любого производства – электроэнергетики и теплоэнергетики – начался в двадцатые годы XX столетия после принятия по предложению В. И. Ленина плана ГОЭЛРО (Государственной электрификации России).

В составлении плана ГОЭЛРО участвовали крупнейшие ученые и инженеры, опытные электротехники страны. Составлению плана ГОЭЛРО предшествовала большая научно-организационная работа (рис. 135).

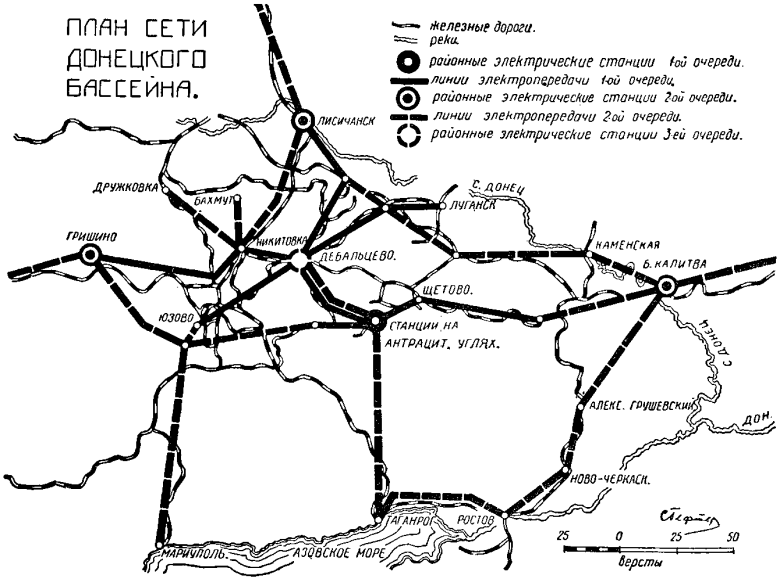


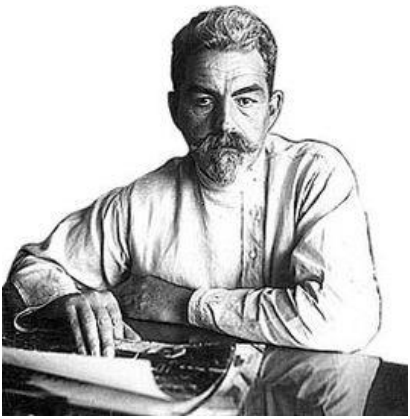
Рис. 135. План сети Донецкого бассейна
(URL: http://energymuseum.ru/docs/)

На основе многочисленных специально подготовленных материалов были разработаны детальные научные обзоры, включавшие в себя отчеты о состоянии техники, отраслей промышленности, сельского хозяйства, строительства и транспорта, территориальном размещении промышленных центров, отдельных крупных предприятий и их технической оснащенности; детальную характеристику энергетических, трудовых, сырьевых и денежных ресурсов экономических регионов страны.

План ГОЭЛРО был принят в декабре 1920 г., а дальнейшая энергетическая программа СССР на длительную перспективу была принята в апреле 1983 г. Такой подход обеспечивал научно обоснованную и сбалансированную выработку основных направлений развития страны.

Руководил составлением плана ГОЭЛРО Г. М. Кржижановский (рис. 136, *а*), в разработке плана принимали участие такие крупные специалисты как А. В. Винтер (рис. 136, *б*), Г. О. Графтио (рис. 136, *в*), Б. Е. Веденеев, А. В. Вульф и др.

а



б

в

Рис. 136. Глеб Максимилианович Кржижановский (1872-1959 гг.) (а), Александр Васильевич Винтер (1878-1958 гг.) (б), Генрих Осипович Графтио (1869-1949 гг.) (в)
(URL: https://ru.wikipedia.org/)

В плане ГОЭЛРО учитывалась зависимость производительности труда от уровня развития технологического оборудования, обеспечивающего электрификацию производственных процессов; были заложены теоретические принципы формирования, подтвержденные опытом развития мирового хозяйства.

Электрификация страны в плане ГОЭЛРО выступала как экономически наиболее выгодное начало народного хозяйства, важнейший фактор технического прогресса, одно из средств решения

первоочередных социальных проблем России. План ГОЭЛРО – программа энергетического развития страны – был выполнен к 1931 г. – минимальному сроку реализации плана. К 1935 г. – максимальному сроку реализации плана – программа была значительно перевыполнена как по числу возведенных электростанций, так и по их качественным и количественным характеристикам.

Это позволило СССР уже к 1941 г. занять второе место в Европе (после Германии) и третье в мире (после США и Германии) по выработке электроэнергии. До 1913 г. Россия по производству электроэнергии стояла на 15-м месте в мире.

В плане много внимания уделялось проблеме использования местных энергетических ресурсов (торфа, воды рек, местного угля и др.) для производства электрической энергии.

В 1922 г. состоялся пуск электростанции «Уткина заводь» – первой торфяной электростанции в Петрограде, в 1925 г. – Шатурской электростанции на торфе. В 1925 г. на Каширской электростанции начали освоение новой технологии сжигания подмосковного угля в виде пыли.

В 1924 г. был введен в эксплуатацию первый теплопровод от ЛГЭС-3 (ТЭЦ им. Л. Л. Гинтера) и это положило начало развитию теплофикации в России.

В 1926 г. была введена в действие мощная Волховская гидроэлектростанция, энергия которой по линии электропередачи напряжением 110 кВ, протяженностью 130 км поступала в Ленинград. Руководил строительством Волховской ГЭС Генрих Осипович Графтио.

В 1921 г. были созданы энергетические объединения государственных электростанций в Москве – МОГЭС, и в Петрограде – «Петроток» (затем переименованное в Ленэнерго).

Первая линия электропередачи напряжением 110 кВ Каширская ГРЭС – Москва введена в эксплуатацию в 1921 г.

В период реализации плана ГОЭЛРО на практике проверялись основные принципы развития электроэнергетики, а именно: 1) строительство крупных электростанций (тепловых и гидростанций), позволяющих обеспечить электроснабжение целых районов; 2) использование местных энергоресурсов; 4) строительство высоковольтных линий передач; 3) равномерное размещение энергоресурсов по стране и др.

Электромашиностроение является основной отраслью электротехнической промышленности, изготовляющей генераторы для энергетической промышленности и электродвигатели для различных отраслей народного хозяйства.

До революции 1917 г. в России было всего четыре машиностроительных завода: завод концерна «Сименс и Шуккерт» в Петербурге, завод электротехнического треста «Вестингауз» (завод «Динамо») в Москве, завод концерна «Всеобщая компания электричества» в Риге и завод «Вольта» в Ревеле. Эти заводы представляли собой сборочные мастерские, работавшие на заграничных полуфабрикатах и материалах. Научно-техническая база находилась за границей.

Электротехническая промышленность России попадала все в большую зависимость от иностранного капитала. Стало горьким правилом, когда известные всему миру русские электротехники-первооткрыватели, не находя применения своим силам на Родине, уезжали на чужбину: П. Н. Яблочков, А. Н. Лодыгин, М. О. Доливо-Добровольский и другие.

В конце XIX в. 75% всех электротехнических изделий поставлялись в Россию из Германии, лампы накаливания привозились из Америки и такое перечисление можно было бы продолжить.

В. Н. Чиколев объединил молодых русских электротехников вокруг журнала *«Электричество»*, на страницах которого стали появляться обличительные статьи в адрес русского правительства. Эта «Могучая кучка» электротехников стала бороться против засилья иностранных капиталов, иностранных специалистов и техники за то, чтобы правительственные и общественные заказы по электротехническим изделиям выполняли русские компании.

Постепенно отечественная электропромышленность пробивала себе дорогу. Первенцами советского электромашиностроения были заводы «Электросила», «Динамо», ХЭМЗ (Харьковский электромашиностроительный завод).

На заводе «Электросила» сосредоточилась разработка и производство турбо- и гидрогенераторов, мощных электродвигателей постоянного тока для прокатных станов и судов, асинхронных машин.

Завод «Динамо» специализировался на тяговом и крановом электрооборудовании, а также на электрооборудовании гидротехнических сооружений. Создавались серии специализированных машин.

Первый турбогенератор на 500 кВт был построен в 1924 г. на «Электросиле», а в 1937 г. выпущен турбогенератор на 100 тыс. кВт с воздушным охлаждением. В 1946 г. был изготовлен турбогенератор с водородным охлаждением. В послевоенные годы были построены Новосибирский (НТГЗ) и Лысьвенский (ЛТГЗ) турбогенераторные заводы.

В результате применения новых систем охлаждения и новых конструкционных, магнитных и изоляционных материалов мощности генераторов росли по таким ступеням: 100, 200, 320, 500, 800 и 1200 тыс. кВт.

Параллельно развивалось гидрогенераторостроение. В 1923 г. завод «Электросила» построил гидрогенератор для первенца советской гидроэнергетики – Волховской ГЭС, затем для Угличской и Рыбинской ГЭС, Волгоградской ГЭС и др.

За годы Великой Отечественной войны (1941-1945 гг.) было потеряно, разрушено, разграблено 60 крупных электростанций, выведено из строя 10 тыс. км ЛЭП. Вывезено в Германию: 1400 паровых котлов, 1400 паро- и гидротурбин, 11300 крупных электрогенераторов и сотни тысяч электродвигателей.

Уже в 1947 г., благодаря громадному труду советского народа, Россия выходит по производству электроэнергии на 1-е место в Европе, а в 1958 г. – на 2-е место в мире. В 1954 г. в Советском Союзе была построена первая в мире АЭС на 5 МВт. В 1958 г. отечественной наукой и техникой созданы турбогенераторы на 200 МВт, в 1959 г. – на 220-300 МВт и более.

Большое развитие получает теплофикация заводов, фабрик, городов, поселков, направленная на производственные и коммунально-бытовые нужды. Общая мощность теплофикационных турбин составляет более 36% от общей мощности тепловых электростанций. Широкая централизованная теплофикация экономит много миллионов тонн условного топлива в год.

Началось интенсивное строительство и гидроэлектростанций, крупнейшие из которых: Волжская – 230 МВт; Горьковская – 400 МВт; Рыбинская (на Волге) – 330 МВт; Камская – 504 МВт; Цимлянская (на Дону) – 166 МВт; Днепровская – 648 МВт; Иркутская (на Ангаре) – 660 МВт; Саяно-Шушенская – 6400 МВт.

Для сравнения: крупнейшая в США Гранд-Кули (р. Колумбия) – имеет мощность – 1974 МВт. Общая протяженность электросетей в Советском Союзе только напряжением 35-400 кВ в 1958 г. составила 100000 км.

В это же время было освоено производство маслонаполненных кабелей на 220 кВ.

К 1990 г. производственный потенциал электроэнергии России составлял около 700 электростанций (из них 70% ТЭЦ и КЭС, 20% ГЭС и 10% АЭС).

В электроэнергетике было 2,5 млн км линий электропередач всех классов напряжения (в том числе 150 тыс. км напряжением

200–1150 кВ); 90% этого потенциала сосредоточено в единой энергетической системе – ЕЭС, имеющей централизованное и оперативно-диспетчерское управление.

Передача электрической энергии на большие расстояния ставила перед страной следующие задачи:

– повышение напряжения: 110, 220, 330, 500, 750 кВ и выше;

– переход на передачу постоянным током из-за большого возрастания емкостных токов на большом переменном напряжении (более 220 кВ);

– создание высоковольтных выпрямителей и инверторов;

– повышение электрической прочности изоляции и изоляторов;

– создание высоковольтных выключателей и молниезащиты;

– создание специальных кабелей – подземных и подводных;

– создание маслонаполненных кабелей на 110-500 кВ;

– замена медных проводов для воздушных линий алюминиевыми и сталеалюминиевыми.

4.7. Энергосистемы как основы энергетической стабильности экономики

Объединение электростанций, осуществляющих параллельную работу на общую сеть, называют энергетической системой. Впервые была создана энергосистема в Швейцарии в 1892 г. (фирма «Эрликон»), в России же они были созданы в 1902 г.

Современные энергетические системы состоят из следующих элементов:

1) электрических станций, вырабатывающих электрическую и тепловую энергию;

2) трансформаторных подстанций, служащих для преобразования электрического напряжения отдельных элементов системы до экономически целесообразного уровня в соответствии с дальностью передачи электроэнергии и величиной передаваемой мощности;

3) линий электропередач высокого напряжения, по которым электрическая энергия передается на большие расстояния к центрам нагрузки отдельных районов;

4) распределительных сетей различных напряжений, подающих энергию непосредственно потребителям;

5) потребительских установок, состоящих из двигателей, электрических печей, светильников и др.

Подобная энергетическая система содержит десятки тысяч различных элементов, работающих совместно при разных напряжениях на разных частотах.

Например, высоковольтная сеть Ленэнерго, которая основана в 1926 г., имеет в своем составе 159 подстанций на 330; 220; 110 и 35 кВ. Общая протяженность ее 3311 км. На подстанциях установлено 475 трансформаторов общей мощностью свыше 19000 МВА.

Входящие в состав энергосистемы электростанции, линии электропередач, подстанции и тепловые сети связаны в одно целое общностью режима и непрерывностью процесса производства и распределения электрической и тепловой энергии.

Создание энергосистем имеет большое народнохозяйственное значение. При совместной работе на общую электросеть ряда электростанций общая нагрузка системы целесообразно распределяется между ними, достигается более экономичное использование оборудования отдельных электростанций и энергетических ресурсов (топлива, воды), а также уменьшаются потери электроэнергии в сетях и, следовательно, уменьшается стоимость электроэнергии. Кроме этого, значительно увеличивается общая надежность электроснабжения потребителей.

Создание больших единых энергосистем позволяет регулировать отпуск электроэнергии в соответствии с разными часовыми поясами страны или разных стран и с разными пиковыми по часам суток нагрузками (покрытие максимумов нагрузки).

В больших энергетических системах существует главный диспетчерский центр, в который поступает непрерывный поток сведений о мощности, нагрузках и распределении энергии по всему региону (части страны или всей стране). Такая система может включать в себя сотни электростанций, подстанций, трансформаторов и тысячи километров высоковольтных линий передачи.

Диспетчерский центр осуществляет прием большого количества необходимых сведений, поддерживает связь с другими системами и является связующим центром объединенных систем. Из него производятся все переключения в высоковольтной сети. Диспетчерский центр оснащен системами автоматизации и телеуправления.

Рассмотрим историю создания и развития энергетических систем. Рост энергетики связан с формированием единой энергетической системы. ЕЭС – сложнейшая, искусственно созданная система, функционирование и управление которой является сложной научно-технической и экономической проблемой. Это связано с по-

следовательной централизацией электроснабжения и концентрацией мощностей, усложнением структуры электрообъединений, увеличением зависимости электроэнергетики от составляющих топливно-энергетического комплекса отдельных крупных регионов, от мировой топливно-энергетической конъюнктуры, ростом влияния уровня надежности электроснабжения на функционирование хозяйства страны в целом.

К 1983 г. в мире существовало три наиболее мощных энергосистемы (энергообъединения): 1) Северной Америки (США и Канада); 2) Западноевропейское (Австрия, Бельгия, Италия, Люксембург, Нидерланды, ФРГ, Франция, Швейцария); 3) Единая энергетическая система (ЕЭС) (СССР, Болгария, Венгрия, Польша, Румыния, Чехословакия, ГДР).

Основой диспетчерского управления подобных систем являются информационно-вычислительные системы (ИВС), включающие ЭВМ, средства автоматики, телемеханики и др.

Создание единых энергосистем, соединение на параллельную работу энергосистем соседних стран, формирование мощных межгосударственных энергообъединений характеризуют развитие мировой энергетики.

К началу 80-х годов XX в. почти 90% мощности электростанций мира было сосредоточено в сформировавшихся энергосистемах.

Первая попытка создания энергосистемы в России была предпринята в 1902 г. на базе двух электростанций в г. Баку под руководством инженера Р. Э. Классона.

Процесс объединения электростанций на параллельную работу и образование более крупных энергетических систем начался в нашей стране в 20-х гг. К концу 1935 г. уже работали 6 энергосистем. Протяженность электрических сетей напряжением 110 кВ составляла 2 тыс. км, в 1933 году была построена первая линия электропередач (ЛЭП) напряжением 220 кВ.

В 1942 г. были заложены основы объединенной энергосистемы Урала.

В стране работало много энергосистем, основными из которых являлись: Уральская, Центральная, Южная, Северо-Западная. Большинство энергосистем европейской территории были объединены в Единую энергосистему в 1962 г., а в 1972 г. произошло объединение с этой системой энергосистем Западной и Восточной Сибири и образование Единой системы страны.

В конце 50-х гг. была освоена линия передачи напряжением 500 кВ.

К 1970 г. было завершено создание Единой энергосистемы европейской части страны. В начале 1978 г. было завершено формирование ЕЭС присоединением энергосистем Сибири.

В 1981 г. в стране работало 96 районных энергосистем. Параллельно работающие районные энергосистемы имели общий центр оперативно-диспетчерского управления.

Структура мощностей ЕЭС на начало 1982 г.: ГЭС – 19,3%, АЭС – 6,5%, ТЭС – 74,2%. Основные электрические сети, формирующие ЕЭС – сети напряжением 330, 500 и 750 кВ.

Сеть 500 кВ – основная системообразующая сеть ЕЭС, обеспечивающая прием и выдачу мощности наиболее крупных электростанций и обмена мощностью между энергосистемами. Протяженность таких сетей составила 25,4 тыс. км.

Внедрение напряжения 750 кВ началось в 1974-1975 гг. и к 1981 г. протяженность линий передачи на 750 кВт превысила 3 тыс. км. В 90-е годы ЕЭС имеет высоковольтные сети передач на 110, 220, 500, 750 и 1150 кВ переменного тока и 1500 кВ постоянного тока.

Из 93 энергетических систем страны в составе ЕЭС на 1980 год работало 67 энергосистем, обеспечивающих энергоснабжение народного хозяйства европейской территории страны, Закавказья, Урала, Северного Казахстана, Западной Сибири.

Из Единой энергосистемы осуществлялся экспорт электроэнергии в параллельно работающие энергосистемы Болгарии, Венгрии, Чехословакии, Польши, ГДР, Финляндии и др.

До распада СССР функционировало межгосударственное объединение «Мир», куда входили энергосистемы социалистических стран, Финляндии, Норвегии, Ирана и Монголии.

Основными топливно-энергетическими ресурсами являются: в европейских районах страны – атомное горючее, на Урале – кузнецкий и экибастузский угли, в Сибири – канско-ачинский уголь и гидроресурсы, в Забайкалье, Якутии и на Дальнем Востоке – местные угли, газ и гидроресурсы.

Первые установки, снабжающие предприятия электроэнергией, появились в 1842 году, когда впервые англичанин Д. Вулрич соединил электрический генератор постоянного тока с паровой машиной. После этого такие установки начали внедряться на фабрики и другие предприятия. Возникла потребность сооружать электрические районные и центральные электростанции.

В 1879 г. Т. Эдисон разработал программу, с которой по существу и началась наука об электроснабжении. В нее вошли следующие основные пункты:

– разрабатывать мощные генераторы, приспособленные к параллельно включенным электрическим приемникам;

– разрабатывать рациональные схемы распределения электроэнергии;

– разрабатывать надежную конструкцию проводников и способов их прокладки;

– разрабатывать защиту системы электроснабжения от токов короткого замыкания;

– изготавливать простые и безопасные выключатели;

– находить способы регулирования напряжения генераторов;

– изготавливать приборы учета отпускаемой электроэнергии;

– разработать систему стандартизации параметров и размеров ламп, аппаратов, деталей проводки и других устройств.

Отметим, что первой, самой простой и основной защитой от коротких замыканий служил (и служит) изобретенный Т. Эдисоном плавкий предохранитель.

С развитием электропотребления и электростанций возникла необходимость оценки эффективности и предельной дальности передачи электроэнергии.

Первые формулы для определения КПД электропередачи дал в 1877 г. француз Э. Маскар. Математические расчеты передачи электроэнергии на большие расстояния были впервые разработаны русским ученым Д. А. Лачиновым в 1880 году; научные исследования в этом направления вел француз Депре.

Величайшее значение имело изобретение М. О. Доливо-Добровольским трехфазной системы переменного тока в 1888 г. В 1892 г. Доливо-Добровольский определил зависимость потерь мощности в трансформаторе от характера нагрузки, применив разложение токов на активную и реактивную составляющие.

Понятие «коэффициент мощности», относящееся к числу важнейших в электроснабжении, было введено в 1884 г. итальянцем Феррарисом.

Для повышения коэффициента мощности М. О. Доливо-Добровольский впервые в мире установил синхронный компенсатор.

Баланс реактивной мощности и решение проблемы повышения коэффициента реактивной мощности с помощью конденсаторных батарей предложил в 1890-х годах француз Поль Бушеро. После создания бумажно-парафинированных дешевых конденсаторов (примерно в 1915 г.) проблема компенсации реактивной мощности была решена.

В 1884 г. англичанин Парсонс создал ступенчатую реактивную турбину, соединил ее с генератором и получил турбогенератор – важнейший агрегат тепловых станций.

Первая линия передачи напряжением 110 кВ была сооружена на П-образных деревянных опорах. Но дерево быстро гниет, его надо обрабатывать антисептиком, при этом срок службы составляет 30-40 лет (на 1932 г.), а расстояние между опорами составляло 50-100 м.

Первые металлические опоры в СССР были сооружены в 1925 г. (Шатура – Москва), расстояние между ними 200 м.

Затем стали сооружать опоры пространственной конструкции – Верхне-Свирская ГЭС – Ленинград (220 кВ). Позднее применили портальную конструкцию опор – пролет увеличился до 350 м (выше проводов подвешивался заземленный стальной трос для обеспечения грозоупорности линий передачи). Потом стали применять железобетонные опоры.

В 1955 г. в Италии была построена линия через Мессинский пролив. Ее протяженность между опорами составляет 3 650 м. Линия в Норвегии между скалистыми берегами фиорда имеет протяженность между опорами 4800 м. Обычными являются пролеты от 50 до 100, 150, 350 м.

В настоящее время продолжается совершенствование конструкций опор линий передач.

Для напряжения 1150 кВ высота опор должна быть 45 м, чтобы высота провода от земли была 17-23 м, а расстояние между фазами – 23 м. Оптимальное сечение проводов равняется 300 мм^2, фаза состоит из 8 сталеалюминиевых проводов, расположенных по вершинам правильного многоугольника.

Еще в XIX в. М. О. Доливо-Добровольский говорил, что будущее передачи электроэнергии высокого напряжения за постоянным током. Использование систем передачи постоянным током дает возможность повышать динамическую и статическую устойчивость объединенных энергетических систем. Ниже приводятся преимущества линий передачи постоянного тока:

– транспортировка электроэнергии осуществляется по двум проводам вместо трех (при трехфазном токе) – сокращается расход цветного металла на 1/3;

– опоры значительно легче, так как вес проводов уменьшается;

– исчезают потери на перемагничивание проводов, так как постоянный ток не меняет направления;

– передача мощности может регулироваться аппаратными средствами;

– генераторы могут работать в несинхронном режиме при соединении линиями передач энергетических систем.

Недостатки линий передачи постоянного тока:

– наличие двух подстанций с преобразователями тока значительно увеличивает расходы на электропередачу;

– электропередача действует как транзитная, без отбора электроэнергии в пути.

Экономически выгодна ВЛ на постоянном токе от 1500 кВ и выше, КПД линии на постоянном токе ~ 85%. Воздушные линии постоянного тока сверхвысокого напряжения, кроме передачи большого количества энергии на дальние расстояния, в оптимальном сочетании с воздушными линиями переменного тока играют большую роль в ЕЭС.

Для разрешения вопросов экономичной передачи энергии целесообразно обратиться к вопросу уменьшения сопротивления линий передачи.

Существенно снизить сопротивление проводников можно путем их глубокого охлаждения. Такие проводники получили название гиперпроводников.

В 1911 г. голландский физик Камерлинг-Оннес открыл явление сверхпроводимости. Идея сверхпроводящих линий была принята с большим энтузиазмом. Но получить низкие температуры не очень просто. Жидкий гелий дает температуру 4,2 К, а жидкий водород – 20 К.

Более четырех десятков лет сверхпроводящие проводники не могли применяться в практических конструкциях. В середине 50-х годов XX века были открыты сплавы ниобия с оловом, которые переходили в сверхпроводящее состояние при температуре двадцать кельвинов (20 К); керамические составы – Ткр = 35 и 78 К.

Исследования показали, что сверхпроводники успешно можно применять для передачи постоянного тока (при переменном – потери больше).

Важнейшим условием работы линий электропередач является их надежность. Разработана целая система защит ЛЭП.

От атмосферных разрядов применяются молниезащиты в виде стальных тросов, расположенных выше проводов, грозовые разрядники, дугогасящие катушки, ОПН – ограничители перенапряжений полупроводниковые и др.

Во избежание системных аварий, которые могут возникнуть при повреждении опор, проводов, изоляторов линий передач, применяется релейная защита – быстродействующие реле и приборы. Широко применяются АПВ (автоматические устройства повторного включения) и АВР (автоматические устройства включения резерва). Из 100 случаев аварийных отключений потребителей и обратных их включений через несколько секунд (с помощью автоматов) в 80 случаях восстанавливается нормальное электроснабжение без нарушения производственного процесса.

Контрольные вопросы

1. Когда возникли первые электростанции в мире, в России?
2. Какие виды электростанций существуют на невозобновляемых источниках энергии?
3. Какие виды электростанций существуют на возобновляемых источниках энергии?
4. Какие перспективные устройства разрабатываются для получения электрической энергии?
5. Как развивалась электрификация России до 1917 г? Где и какие крупные электростанции строились, кто руководил строительством?
6. Что представляет собой план ГОЭЛРО, кто его авторы?
7. Какие электростанции и линии электропередач были построены по плану ГОЭЛРО?
8. Какое место в мире занимала Россия по выработке электроэнергии в 1913 г., какое к 1941 г?
9. Какие потери в электроэнергетике России имели место во время Великой Отечественной войны?
10. Когда началась централизованная теплофикация на базе тепловых электростанций в России?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие цивилизации, потребности производства ставили и ставят перед учеными и инженерами задачи познания тепловых, электрических и магнитных явлений, радиоактивности и использования их на практике.

Знания, накопленные человечеством в течение тысячелетий, выдающиеся научные открытия и изобретения в эпоху Возрождения, промышленной революции XVI-XVIII вв. и в последующий период обеспечили успешное развитие начал термодинамики и теории теплопередачи, теплотехники, теории электричества и электротехники.

К началу XX в. возникли необходимые условия для дальнейшего широкого развития электроэнергетики: были созданы эффективные паровые и гидравлические турбины, электрические генераторы переменного тока, построены и успешно эксплуатировались первые тепловые и гидроэлектростанции, линии электропередач высокого напряжения.

Полученный опыт применения электроэнергии продемонстрировал ее огромные технологические преимущества благодаря использованию при ее производстве различных видов первичной энергии (возобновляемых и невозобновляемых), преобразуемых во вторичную энергию, и передаче ее на большие расстояния. При этом в производство электроэнергии вовлекались масштабные энергоресурсы, такие как уголь, торф, нефть, газ, гидравлическая энергия.

Были доказаны высокая эффективность электричества, обеспечивающего свет, тепло, механическую энергию, возможность многофункционального его использования в промышленности, транспорте, сельском хозяйстве, в быту и т.д.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Багдасарьян, Н. Г. Профессиональная культура инженера: механизмы освоения. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1998. – 249 с.

2. Васильев, С. И. Электротехника и электроника : практикум. Ч.1. Линейные электрические цепи / С. И. Васильев, И. В. Юдаев. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2016. – 133 с.

3. Васильев, С. И. Электротехника и электроника : учебное пособие / С. И. Васильев, И. В. Юдаев, С. В. Машков. – Кинель : РИО СГСХА, 2017. – 152 с.

4. Василькова, В. В. Междисциплинарность как когнитивная практика (на примере становления коммуникативной теории) // Коммуникация и образование : сб. ст. ; под ред. С. И. Дудника. – СПб. : Санкт-Петербургское философское общество, 2004. – С. 69-88.

5. Веников, В. А. Введение в специальность. Электроэнергетика / В. А. Веников, Е. В. Путятин. – М. : Высшая школа, 1988. – 239 с.

6. Вершинина, Н. А. Структура педагогики: Методология исследования. – СПб. : Лемма, 2008. – 313 с.

7. Веселовский, О. Н. Энергетическая техника и её развитие : учебное пособие для энергетических и электротехнических специальностей вузов / О. Н. Веселовский, Я. А. Шнейберг. – М. : Высшая школа, 1976. – 304 с.

8. Виргинский, В. С. Очерки истории науки и техники, 1870-1917 гг. / В. С. Виргинский, В. Ф. Хотенков. – М. : Просвещение, 1988. – 304 с.

9. Вознякевич, Е. Е. История и философия науки : учебное пособие для магистров и аспирантов факультета географии и геоэкологии / Е. Е. Вознякевич, Л. В. Шиповалова. – СПб. : Изд-во СПбГУ, 2010. – 152 с.

10. Володин, В. В. Энергия, век двадцать первый / В. В. Володин, П. М. Хазановский. – М. : Дет. лит., 1989. – 142 с.

11. Ганзбург, Л. Б. История техники : в 3 ч. – Ч. III. Энергетика / Л. Б. Ганзбург, С. И. Джаншиев, Т. Е. Харламова. – СПб. : СЗПИ, 2000. – 190 с.

12. Гриднева, Т. С. Предмет «История развития электрооборудования и электротехнологий» : методологический подход / Т. С. Гриднева, С. С. Нугманов // Инновации в системе высшего образования : сб. науч. тр. – Кинель : СГСХА, 2017. – С. 24-27.

13. Гриднева, Т. С. Формирование профессиональных компетенций бакалавров по направлению подготовки 35.03.06 «Агроинженерия», профиль «Электрооборудование и электротехнологии» при изучении курса «Электроснабжение» / Т. С. Гриднева, С. С. Нугманов, В. А. Сыркин // Инновации в системе высшего образования : сб. науч. тр. Национальной науч.-метод. конф. – Кинель : РИО Самарского ГАУ, 2019. – С. 73-75.

14. Громов, В. И. Самарские энергетические истории. – Самара : ВоТГК, Упр. по связям с общественностью и СМИ, 2010. – 100 с.

15. Гумилевский, Л. И. Русские инженеры. – М. : Молодая гвардия, 1953. – 440 с.

16. Гусев, С. С. Междисциплинарность [Электронный ресурс] : энциклопедия эпистемологии и философии науки. – URL: http://epistemology_of_science.academic.ru

17. Данилевский, В. В. Русская техника. – Л. : Ленинградское газетно-журнальное и книжное изд-во, 1949. – 348 с.

18. Друянов, Л. А. Законы природы и их познание. – М. : Просвещение, 1982. – 112 с.

19. Дьяков, А. Ф. Электроэнергетика России. История и перспективы развития. – М. : АО «Информэнерго», 1997. – 568 с.

20. Дягилев, Ф. М. Из истории физики и жизни ее творцов. – М. : Просвещение, 1986. – 133 с.

21. Институт трансдисциплинарных технологий [Электронный ресурс]. – URL: http: // www.anoitt.ru/students/mnogoobrazie.php.

22. История развития техники носит междисциплинарный характер [Электронный ресурс]. – URL: https://refdb.ru/look/1861262-pall.html.

23. Ишкин, П. А. Совершенствование методики преподавания дисциплины «Электрические станции и подстанции» / П. А. Ишкин, С. И. Васильев, М. Р. Фатхутдинов // Инновации в системе высшего образования : сб. науч. тр. Международной науч.-метод. конф. – Кинель : РИО Самарского ГАУ, 2019. – С. 59-61.

24. Казарин, В. Н. Энергетическое сердце Самары. – Самара, 2000. – 200 с.

25. Каменев, А. Ф. Технические системы: закономерности развития. – М. : Машиностроение, 1985. – 216 с.

26. Карлов, Н. В. Синтез гуманитарного и естественно-научного // Высшее образование в России. – 1992. – № 3. – С. 123-128.

27. Карцев, В. П. Тысячелетия энергетики / В. П. Карцев, П. М. Хазановский. – М. : Знание, 1984. – 224 с.

28. Касавин, И. Т. Философия познания и идея междисциплинарности // Эпистемология. Философия науки. – 2006. – Т. II, № 2. – С. 5-14.

29. Кириллин, В. А. Страницы истории науки и техники. – М. : Наука, 1986.

30. Ковалев, А. М. Общество и законы его развития. – М. : Изд-во МГУ, 1975. – 416 с.

31. Ковалёв, В. З. История электротехники : учебное пособие / В. З. Ковалев, А. Г. Щербаков, Р. Н. Хабитов. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2006. – 60 с.

32. Колчинский, Э. И. Естественная история в России (Очерки развития естествознания в России в XVIII в.) / Э. И. Колчинский, А. К. Сытин, Г. И. Смагина. – СПб. : Изд-во СПб ИИ РАН «Нестор-История», 2004. – 242 с.

33. Коновал, П. Я. Энергия, объединяющая сердца / под общ. ред. И. В. Плачкова. – Киев : Новий друк, 2005. – 366 с.

34. Концепции современного естествознания : учебник для вузов / под ред. проф. В. Н. Лавриненко, проф. В. П. Ратникова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2006. – 317 с.

35. Крик, Э. Введение в инженерное дело. – М. : Энергия, 1970. – 176 с.
36. Кудрявцев, П. С. История физики. – М. : Просвещение, 1956. – Т. 1. – 564 с.
37. Кудрявцев, П. С. Курс истории физики. – М. : Просвещение, 1982. – 448 с.
38. Кузин, А. А. К. Маркс и проблемы техники. – М. : Наука, 1968. – 112 с.
39. Кузнецов, Б. В. Развитие тепловых двигателей. – М. ; Л. : Госэнергоиздат, 1953. – 288 с.
40. Кузнецов, Б. Г. Очерки истории русской науки. – М. : Изд-во Академии наук СССР, 1940. – 170 с.
41. Ливанова, А. М. Физики о физиках. – М. : Молодая гвардия, 1968. – 258 с.
42. Льоцци, М. История физики / М. Льоцци ; пер. с итал. – М. : Мир, 1970. – 464 с.
43. Макеева, Г. П. Рассказы о физиках / Г. П. Макеева, П. Е. Медведев. – Минск : Высшая школа, 1966. – 379 с.
44. Матющенко, В. С. История электроэнергетики : учебное пособие / В. С. Матюшенко, С. В. Матюшенко. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2010. – 103 с.
45. Машков, С. В. Светотехника и электротехнология : учебное пособие / С. В. Машков, И. В. Юдаев, А. А. Гашенко, П. В. Крючин. – Кинель : РИО СГСХА, 2017. – 120 с.
46. Мелещенко, Ю. С. Техника и закономерности ее развития. – М. : Лениздат, 1970. – 246 с.
47. Мирский, Э. М. Междисциплинарные исследования и дисциплинарная организация науки. – М. : Наука, 1980. – 303 с.
48. Новиков, Д. А. О предмете и структуре методологии / Д. А. Новиков, А. М. Новиков // Мир образования – образование в мире. – 2008. – № 1. – С. 29-40.
49. Панибратов, В. Н. Категория «закон». Проблемы истории и объективно-диалектического содержания. – Л. : Наука, 1980. – 128 с.
50. Половинкин, А. И. Законы строения и развития техники (постановка проблемы и гипотезы). – М. ; Волгоград : Изд-во Волгоградского политехнического института, 1985. – 202 с.
51. Половинкин, А. И. Основы инженерного творчества. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.
52. Промышленность и техника. Энциклопедия промышленных знаний. Т. 3 : Электричество. – СПб. : Просвещение, 1901. – 644 с.
53. Ревко, П. С. Введение в историю науки и техники : учебное пособие. – Таганрог : Изд-во Кучма, 2010. – 128 с.
54. Семенов, С. А. Развитие техники в каменном веке. – М. : Наука, 1968. – 361 с.
55. Содди, Ф. История атомной энергии / Ф. Содди ; пер. с англ. Богданова, М. В. Колокольниковой, А. Ю. Пентина ; под ред. А. Н. Кривомазова, Д. Н. Трифонова. – М. : Атомиздат, 1979. – 288 с.

56. Соловьев, А. С. История развития электроэнергетики и электромеханики в России / А. С. Соловьев, А. Е. Козярук. – СПб. : Санкт-Петербургский горный ин-т, 2000. – 104 с.

57. Томилин, А. Мир электричества [Электронный ресурс]. – URL: https://profilib.com/chtenie/56665/anatoliy-tomilin-mir-elektrichestva.php.

58. Харламова, Т. Е. История науки и техники. Электроэнергетика : учебное пособие. – СПб. : СЗТУ, 2006. – 126 с.

59. Чмыхало, А. Ю. К вопросу о междисциплинарном взаимодействии в науке и образовании // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – № 6, т. 315. – С. 86-89.

60. Шарлот, В. М. На вахте огневой. Страницы истории Безымянской ТЭЦ. – Самара : Парус, 2001. – 232 с.

61. Шателен, М. А. Русские энергетики второй половины XIX века : учебное пособие. – М. ; Л. : Госэнергоиздат, 1950. – 384 с.

62. Шикман, А. П. Деятели отечественной истории : биограф. справка. – М., 1997. – 447 с.

63. Шубинский, В. И. Ломоносов: Всероссийский человек. – М. : Молодая гвардия, 2010. – 471 с.

64. Электрофизическая предпосевная обработка семян как способ интенсификации процессов в растениеводческой отрасли сельского хозяйства : монография / С. И. Васильев, И. В. Юдаев, С. В. Машков [и др.]. – Кинель : РИО ФГБОУ ВО Самарского ГАУ, 2020. – 239 с.

65. Энергетика: История, настоящее, будущее [Электронный ресурс]. – URL: http://energetika.in.ua/ru/about-books.

66. Юдаев, И. В. История науки и техники: электроэнергетика и электротехника : учебное пособие / И. В. Юдаев, Т. М. Зуева, И. В. Глушко. – СПб. : Лань, 2019. – 340 с.

67. Electrolibrary.info [Электронный ресурс]. – URL: http://www.electrolibrary.info/history/histroryakkumul.htm.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

КРАТКИЙ ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ УЧЕНЫХ И ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ, ВНЕСШИХ ВКЛАД В РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Александров Иван Гаврилович (1875-1936 гг.), академик АН СССР (1932), энергетик, гидротехник, участник разработки плана ГОЭЛРО.

Ампер Андре Мари (1775-1836 гг.), Франция, член Петербургской академии наук (1830), физик, математик, один из основоположников электродинамики, построил первую теорию магнетизма, установил закон механического взаимодействия токов, дал толкование и сформулировал такие понятия как *«электрический ток»* и *«направление тока»*.

Араго Доминик Франсуа (1786-1853 гг.), Франция, физик, политический деятель, открыл магнетизм вращения.

Арнольд Энгельберт (1856-1911 гг.), Германия, профессор электротехнического института в Карлсруэ, электрик.

Бардин Джон (р. 1908 г.), США, член АН СССР, лауреат Нобелевской премии (1956 г.) совместно с У. Браттейном и У. Шокли, лауреат Нобелевской премии (1957 г.) совместно с Л. Купером и Дж. Шиффером, физик, изобретатель транзистора (1948 г.), один из авторов микроскопической теории сверхпроводимости.

Барлоу Питер (1776-1862 гг.), изобрел электродвигатель «колесо Барлоу» (1824 г.).

Беккария Джованни-Батиста (1716-1781 гг.), Италия, выдвинул гипотезу о связи электричества и магнетизма.

Беккерель Антуан Сезар (1788-1878 гг.), Франция, физик, труды по философии, флуоресценции и термоэлектричеству.

Белл Александр Грейам (1847-1922 гг.), Шотландия, США, физик, один из изобретателей телефона, получил патент на первый пригодный телефон (1876 г.).

Бенардос Николай Николаевич (1842-1905 гг.), физик, изобретатель и один из создателей дуговой электрической сварки металлов.

Био Жан Батист (1774-1862 гг.), Франция, почетный член Петербургской академии наук, физик, сформулировал законы термодинамики, изучал магнитное поле электрического тока.

Блати Отто Титус (1860-1939 гг.), Венгрия, изобрел трансформатор и счетчик электрической энергии.

Бодо Жан Морис Эмиль (1845-190 гг.), Франция, изобрел буквопечатающий телеграфный аппарат.

Болотов Андрей Тимофеевич (1738-1833 гг.), ученый, писатель, основатель русской агрономической науки.

Бонч-Бруевич Михаил Александрович (1888-1940 гг.), профессор Ленинградского электротехнического института, один из пионеров радиотехники.

Борель Эмиль (1871-1956 гг.), Франция, математик, изобрел индукционный счетчик.

Боргман Иван Иванович (1849-1914 гг.), первый выбранный ректор Петербургского университета, проводил исследования в области электричества и магнетизма, конструировал трехфазные машины (1892 г.).

Бош Роберт (1861-1942 гг.), Германия, электротехник, основатель фирмы автомобильной электротехники «Роберт Бош».

Бранли Эдуард (1859-1927 гг.), Франция, физик, изобрел когерер (1891 г.).

Браттейн Уолтер (1902-1987 гг.), США, лауреат Нобелевской премии (1956 г.), изобрел транзистор (1948 г.).

Бреге Луи Франсуа (1804-1883 гг.), Франция, владелец и технический руководитель мастерской часов и точных приборов; в 1874 г. за изобретения в области электротехники был избран экстраординарным членом Парижской академии наук.

Бреш Чарльз Френсис (1849-1929 гг.), Англия, предложил шихтованный якорь (1878 г.).

Броун Чарльз Юджин Ленслот (1863-1924 гг.), главный инженер фирмы «Эрликон», конструировал трехфазные машины.

Ван-Депуль, США, предложил осуществить питание электротранспорта от контактного провода (1833 г.).

Варбург Эмиль Габриэль (1846-1931 гг.), Германия, физик, профессор Берлинского университета; президент Физико-технического института в Берлине; открыл явление гистерезиса (1881 г.).

Варлей Карнелий (Варжи Кромвель) (1828-1883 гг.), Англия, предложил описание принципа самовозбуждения генератора (1866 г.).

Вебер Вильгельм Эдуард (1804-1891 гг.), Германия, член-корреспондент Петербургской академии наук (1853 г.), физик, разработал совместно с К. Ф. Гауссом систему электрических и магнитных единиц.

Веденеев Борис Евгеньевич (1884-1946 гг.), главный инженер строительства Днепрогэс, ответственный редактор журнала «Электричество».

Винтер Александр Васильевич (1878-1958 гг.), академик АН СССР (1932 г.), энергетик, строитель Шатурской и Днепровской электростанций.

Войнаровский Павел Дмитриевич (1866-1913 гг.), профессор и директор Ленинградского электротехнического института.

Вологдин Виктор Петрович (1883-1950 гг.), профессор Владивостокского политехнического института, основоположник электродуговой сварки корпусов судов.

Вольта Алессандро (1745-1827 гг.), Италия, физик, физиолог, один из основателей учения об электричестве, создал первый химический источник тока, открыл контактную разность потенциалов, дал толкование и сформулировал такие понятия, как *«электродвижущая сила»* и *«гальванический элемент»*.

Вольдек Александр Иванович (1911-1977 гг.), профессор, академик Академии наук Эстонской ССР, заведующий кафедрой электрических машин (1961-1977 гг.) Ленинградского политехнического института.

Галилей Галилео (1564-1642 гг.), Италия, физик, поэт, филолог, математик, художник, один из основателей точного естествознания.

Галльвакс Вильгельм (1859-1922 гг.), Германия, физик, открыл фотоэлектрический эффект.

Гальвани Луиджи (1737-1798 гг.), Италия, физик, анатом, физиолог, один из основателей учения об электричестве, основоположник экспериментальной электрофизиологии.

Гаусс Карл Фридрих (1777-1855 гг.), Германия, математик, физик, исследовал электричество и магнетизм, создал первый в Германии электромагнитный телеграф.

Гебель Генрих (1817-1893 гг.), немецкий эмигрант в США, изобрел лампу накаливания (1854).

Гельмгольц Герман Людвиг (1821-1894 гг.), Германия, физик, математик, психолог, сформулировал законы сохранения энергии, известен работами в области аэродинамики электромагнетизма.

Генри Джозеф (1797-1878 гг.), США, электротехник, работал над электромагнитами, открыл явление самоиндукции, колебательный характер разряда конденсатора.

Герике Отто фон (1602-1686 гг.), Германия, физик, изобрел воздушный насос, водяной барометр, построил электрическую машину.

Герц Генрих Рудольф (1857-1894 гг.), Германия, физик, один из основоположников электродинамики, разработал учение об электромагнитных волнах, открыл фотоэффект.

Гефнер-Альтенек Фридрих (1845-1904 гг.), Германия, предложил свечу как единицу силы света.

Гиббс Эдуард Диксон, Франция, банкир, получил патент на трансформаторы (1882 г.), трансформаторы Гиббса и Голяра демонстрировались в 1883 г. в Лондоне в Вестминстерском аквариуме.

Гильберт Уильям (1544-1603 гг.), Англия, физик, врач, изучал магнитные и электромагнитные явления.

Голард (Голяр) Люсьен (1850-1888 гг.), Франция, получил патент на трансформаторы (1882 г.).

Гопкинсон Джон (1849-1898 гг.), Англия, физик, исследовал эффект Холла, занимался проблемами электрического освещения и механики, разработал метод «ярма» для магнитных измерений.

Гопкинсон Эдвард (брат Джона Гопкинсона), Англия, физик, создал первую конструкцию трансформатора с замкнутой магнитной системой (1884 г.).

Гордон Джон (1852-1893 г.), Англия, инженер, конструировал двухфазные генераторы (1882 г.).

Грамм Зеноб (Зиновий) Теофил (1826-1901 гг.), Бельгия, Франция, электротехник, получил патент на электрогенератор, основал производство электромагнитов.

Графтио Генрих Осипович (1869-1949 гг.), академик АН СССР, один из пионеров гидроэнергетического строительства, профессор Ленинградского электротехнического института, один из основных разработчиков плана ГОЭЛРО.

Грей Стефан (1670-1736 гг.), Англия, проводил опыты по электризации.

Грондаль Ларс (1880 г.–?), США, физик, создал первый выпрямитель с запирающим слоем на границе меди с закисью меди – купоросный выпрямитель.

Гротгус Кристиан Иоганн Дитрих Теодор фон (1785-1822 гг.), физик, химик, сформулировал первую теорию электролиза (1805 г.).

Гудиир Чарльз (1800-1860 гг.), США, предложил вулканизацию каучука (1839 г.).

Даниэль Джон Фредерик (1790-1845 гг.), Англия, ученый и изобретатель, профессор Лондонского университета, исследовал гальванические элементы.

Д'Арсонваль Жак Арсен (1851-1940 гг.), Франция, биофизик, физиолог, построил гальванометр с неподвижным магнитом и подвижной катушкой.

Девенпорт Томас (1802-1851 гг.), США, техник, изобрел двигатель Девенпорта (1837 г.).

Деви Хемфри (1778-1829 гг.), Англия, обнаружил нагрев проводника током.

Демирчян Камо Серопович (25 октября 1928 г.), академик РАН, Институт высоких температур Академии наук РФ, автор многочисленных учебников по теоретическим основам электротехники.

Депре Марсель (1843-1918 гг.), Франция, физик, электротехник, обосновал возможность передачи и распределения электроэнергии по проводам на большие расстояния, построил первую ЛЭП на постоянном токе (1882 г.).

Дери Микша (1854-1938 гг.), Венгрия, создал однофазный генератор с самовозбуждением от механического выпрямителя.

Джоуль Джемс Прескотт (1818-1889 гг.), Англия, физик, экспериментально обосновал закон сохранения энергии, определил механический эквивалент тепла.

Дивиш Прокоп (1698-1795 гг.), Чехия, естествоиспытатель, создатель электростатической машины.

Доливо-Добровольский Михаил Осипович (1862-1919 гг.), электротехник, создатель техники трехфазного переменного тока, создал трехфазный АД (1888-1889 гг.), осуществил первую электропередачу трехфазного тока (1891 г.).

Дюфе Шарль Франсуа (1698-1739 гг.), Франция, изобрел электроскоп, магнитометр, открыл существование двух родов электричества.

Ефимов Игорь Григорьевич, профессор Санкт-Петербургского государственного технического университета.

Зеебек Томас Иоганн (1770-1831 гг.), Германия, физик, открыл термоэлектричество.

Зинстеден Вильгельм Иозеф (1803-1891 гг.), Германия, физик, врач, предложил замену постоянных магнитов в электрических машинах электромагнитами.

Иоффе Абрам Федорович (1880-1960 гг.), академик АН СССР (1953), первый директор Физико-технического института, физик, пионер исследований в области полупроводников.

Иедлик Аньош Иштван (1800-1895 гг.), Венгрия, физик, исследовал самовозбуждение генераторов постоянного тока (1856 г.).

Кавендиш Генри (1731-1810 гг.), Англия, физик, ввел понятие электрического потенциала, изучил взаимодействие электрических зарядов, предвосхитив Кулона.

Калантаров Павел Лазаревич (1892-1951 гг.), профессор Ленинградского политехнического института, электротехник.

Капп Гизберт (1852-1922 гг.), Англия, физик, вывел формулу трансформаторной ЭДС.

Карлейль А. (Энтони) (1768-1840 гг.), Англия, врач, обнаружил разложение воды электрическим током.

Кирхгоф Густав Роберт (1824-1887 гг.), Германия, член-корреспондент Петербургской академии наук (1862 г.), физик, обосновал распределение электрической энергии в разветвленных электрических цепях.

Классон Роберт Эдуардович (1868-1926 гг.), энергетик, принимал участие в монтаже и пуске первой линии трехфазного тока.

Коллан Никольс (1799-1864 г.), Ирландия, физик, изобрел индукционную катушку.

Константинов Константин Иванович (1817-1871 гг.), ученый в области артиллерии, ракетостроения, приборостроения и автоматики, изобрел электромеханический переключатель-распределитель.

Копняев Павел Петрович (1867-1932 гг.), электротехник, автор первого русского труда по машинам постоянного тока.

Копылов Игорь Петрович, профессор Московского энергетического института.

Костенко Михаил Полиевктович (1889-1976 гг.), академик АН СССР, директор Института электромеханики АН СССР, электромеханик, основатель научной школы электромашиностроения.

Красин Леонид Борисович (1870-1926 гг.), дипломат, строитель электростанций в Баку, сотрудник фирмы «Сименс и Шуккерт».

Кржыжановский Глеб Максимилианович (1872-1959 гг.), вице-президент АН СССР (1929-1939 гг.), руководитель энергетического института АН СССР, председатель комиссии ГОЭЛРО.

Круг Карл Адольфович (1873-1952 гг.), член-корреспондент АН СССР (1953), электротехник, участник составления плана ГОЭЛРО.

Кулон Шарль Огюстен (1736-1806 гг.), Франция, физик и инженер, один из основоположников электростатики.

Лангмюр Ирвинг (1881-1957 гг.), США, физик, предложил газонаполненную лампу накаливания.

Лаплас Пьер Симон (1749-1827 гг.), Франция, почетный член Петербургской академии наук (1802 г.), астроном, математик, физик, автор классических трудов по теории вероятностей и небесной механике.

Лачинов Дмитрий Александрович (1842-1902 гг.), физик, электротехник, занимался передачей электроэнергии на большие расстояния без больших потерь за счет повышения напряжения.

Лебединский Владимир Константинович (1868-1937 гг.), профессор Ленинградского государственного университета, радиотехник, пионер практической радиотехники.

Ленц Эмилий Христианович (1804-1865 гг.), академик Петербургской академии наук (1830 г.), ректор Петербургского университета (с 1863 г.), физик, электротехник, создал методы расчета электромагнитов, открыл обратимость электрических машин, экспериментально обосновал закон Джоуля-Ленца.

Лодж Оливер (1851-1940 гг.), Англия, инженер-электрик, предложил механизм для встряхивания когерера.

Лодыгин Александр Николаевич (1847-1923 гг.), электротехник, создатель угольной лампы накаливания, один из основателей электротермии.

Ломоносов Михаил Васильевич (1711-1765 гг.), естествоиспытатель, поэт, основоположник физической химии.

Лоренц Хендрик Антон (1853-1928 гг.), Нидерланды, профессор, физик, основоположник электронной теории.

Лютер Роберт Андреевич (1889-1976 гг.), доктор технических наук, шеф-электрик завода «Электросила».

Максвелл Джеймс Клерк (1831-1879 гг.), Англия, физик, создал теорию электромагнитного поля, развил идеи М. Фарадея, предсказал существование электромагнитных волн.

Максим Хайрем Стивенс (1840-1916 гг.), США, создатель пушки, пулемета.

Маркони Гульельмо (1874-1937 гг.), Италия, физик, радиотехник, создатель беспроволочного телеграфа.

Маскар Элетер Эли Никола (1837-1908 гг.), Франция, физик, президент Парижской академии наук (1904 г.), член-корреспондент Петербургской академии наук (1891 г.), исследовал передачу электрической энергии.

Мейсснер Э. (Александр) (1883-1958 гг.), Австрия, Германия, электротехник, использовал триод в качестве лампового генератора.

Мие (Ми) Густав (1868-1957 гг.), Германия, физик, исследовал процессы коммутации (1899 г.).

Миткевич Владимир Федорович (1872-1951 гг.), академик АН СССР (1929 г.), электротехник, занимался проблемами передачи электромагнитной энергии, участник составления плана ГОЭЛРО.

Мордей Вильям Моррис (1856-1938 гг.), Англия, предложил уравнительные соединения в генераторах (1883 г.).

Морзе Сэмуэль Финли Бриз (1791-1872 гг.), США, художник и изобретатель, изобрел электромагнитный телеграфный аппарат (1837) и телеграфный код (1838).

Мушенбрук Питер ван (1692-1761 гг.), Нидерланды, почетный член Петербургской академии наук (1754 г.), физик, медик, создатель лейденской банки, автор первого систематического курса физики (1739 г.).

Нейман Леонид Робертович (1902-1975 гг.), академик АН СССР (1970 г.), профессор Ленинградского политехнического института, основоположник трудов по распространению электромагнитных волн в нелинейной среде.

Нейман Франц Эрнест (1798-1895 гг.), Германия, физик, составил уравнения цепей в дифференциальной форме, автор первого математического выражения электромагнитной индукции.

Негоро (Негро) Сальватор, дель (1768-1839 гг.), Италия, создал генератор переменного тока с возвратно-поступательным движением (1832 г.).

Никольсон Уильям (1753-1815 гг.), Англия, физик, химик и инженер, обнаружил разложение воды электрическим током (1800 г.).

Нолле Жан Антуан (1700-1770 гг.), Франция, физик, создал многомашинный агрегат для питания дуговых ламп.

Ом Георг Симон (1787-1854 гг.), Германия, электротехник, установил основной закон электрической цепи.

Паррот Георг Фридрих (Егор Иванович) (1767-1852 гг.), Германия, первый ректор Дерптского университета (1802 г.), работал в России, почетный член Петербургской академии наук (1840 г.), основатель теории гальванических элементов.

Патон Евгений Оскарович (1870-1953 гг.), специалист в области сварки и мостостроения, в 1953 г. под его руководством в Киеве был построен цельно сваренный мост.

Пачинотти Антонио (1841-1912 гг.), Италия, физик, создал магнитоэлектрическую машину с кольцевым зубчатым якорем, обосновал обратимость электрических машин.

Пейдж Чарльз Г. (1812-1868 гг.), США, врач, изобрел индукционную катушку (1838 г.).

Пелтье Жан Шарль Атаназ (1785-1845 гг.), Франция, физик, метеоролог, часовщик, открыл термоэлектричество (1834 г.).

Петров Василий Владимирович (1761-1834 гг.), физик, электротехник, основоположник теории горения, дал толкование и сформулировал такое понятие, как *«электрическое сопротивление»*.

Пикси Ипполит (1808-1835 гг.), Франция, изобретатель, построил генератор постоянного тока с коммутатором (1832 г.).

Пиотровский Людвик Марианович (1886-1959 гг.), специалист в области электрических машин, профессор Ленинградского политехнического института.

Пироцкий Федор Апполонович (1845-1898 гг.), изобретатель-электротехник.

Писаревский Василий Григорьевич (1821-1895 гг.), первый директор Ленинградского электротехнического института.

Планте Гастон Раймонд (1834-1889 гг.), Франция, изобрел свинцовый аккумулятор (1839 г.).

Пойнтинг Джон Генри (1852-1914 гг.), Англия, физик, ввел понятие электромагнитной энергии, его именем назван вектор плотности потока электромагнитной энергии.

Поливанов Михаил Константинович (1875-1927 гг.), профессор Московского высшего технического училища им. Баумана, создатель московского трамвая.

Попов Александр Степанович (1859-1905 гг.), физик, электротехник, один из пионеров применения электромагнитных волн в практических целях, изобретатель радио.

Рейс Иоганн Филипп (1834-1874 гг.), Германия, физик, изобрел телефон.

Рейс Федор Федорович (1778-1852 гг.), физик, обнаружил явление электроосмоса (1807 г.).

Риги Аугусто (1850-1921 гг.), Италия, физик, член ряда академий, в том числе Петербургской, обнаружил явление гистерезиса при намагничивании (1807 г.).

Риттер Иоганн Вильгельм (1776-1810 гг.), Германия, физик и химик, обнаружил разложение воды током (1880 г.).

Рихман Георг Вильгельм (1711-1753 гг.), русский физик, изобрел электрометр и калориметр, изучал атмосферное электричество.

Рихтер Рудольф (1877-1957 гг.), профессор Высшей технической школы в Карлсруэ, автор многотомной монографии по электрическим машинам.

Риччи Уильям (1790-1837 гг.), Англия, изобрел двигатель с ртутным коммутатором (1833 г.).

Романьози Джованни Доменико (1761-1835 гг.), Италия, философ и юрист, профессор гражданского права, обнаружил влияние проводника с током на магнитную стрелку (1802 г.).

Роуланд Генри Август (1848-1901 гг.), США, член Лондонского королевского общества (1889 г.) и Парижской академии наук (1893), сформулировал законы магнитных цепей (1873 г.).

Румкорф Генрих Даниэль (1803-1877 гг.), Германия, изобретатель, конструктор точных инструментов в Париже, изобрел индукционную катушку.

Савар Феликс (1791-1841 гг.), Франция, военный хирург, физик, сформулировал закон о напряженности магнитного поля, создаваемого током.

Сван (Свон) Джон Уильсон (1828-1914 гг.), Англия, конструктор осветительных ламп.

Сименс Вернер Эрнст, фон (1816-1892 гг.), основатель электротехнических концернов «Сименс и Гальске», «Сименс и Шукерт», занимавшихся проблемами создания телеграфных установок, освещения, трамвая.

Славянов Николай Гаврилович (1854-1897 гг.), один из создателей дуговой электросварки, впервые применил для сварки электрический генератор.

Смирнов Александр Иванович (1851-1911 гг.), редактор журнала «Электричество», строитель электростанций Гатчинского и Зимнего дворцов, Мариинского театра.

Стерджен Вильям (1783-1850 гг.), Англия, заведующий Галереей практических знаний в Манчестере, изобрел электромагнит (1825), сконструировал гальванометр с подвижной катушкой.

Столетов Александр Григорьевич (1839-1896 гг.), физик, создатель электромагнитной теории света.

Страхов Петр Иванович (1736-1827 гг.), физик, установил, что вода является проводником.

Тесла Никола (1856-1943 гг.), Сербия, США (с 1884 г.), физик, открыл явление вращающегося магнитного поля, предложил использовать многофазные электрические машины.

Томсон Илайю (1854-1937 гг.), изобретатель репульсионного двигателя.

Томсон Уильям барон Кельвин (1824-1907 гг.), Англия, физик, сформулировал второе начало термодинамики, предложил ввести абсолютную шкалу температур, дал толкование и обосновал такое понятие как *«энергия»*.

Тюри Рене Фонтен (1860-1938 гг.), Швейцария, внес значительный вклад в развитие техники передачи электроэнергии постоянным током, первая установка по системе Тюри осуществлена в Генуе.

Уатсон Уильям (1715-1787 гг.), Англия, врач, член Королевского общества, хранитель Британского музея, создал теорию конденсаторов, построил громоотвод (1762 г.).

Уатт Джеймс (1736-1819 гг.), Англия, изобретатель теплового двигателя.

Уитстон Чарльз (1802-1875 гг.), Англия, физик, электротехник, исследовал самовозбуждение генераторов, обосновал и дал толкование понятию как *«мостик сопротивлений»* или *«мост Уитстона»*.

Умов Николай Александрович (1846-1915 гг.), физик, автор работы «Уравнение движения энергии в телах» (1874 г.), его именем назван вектор Умова–Пойнтинга.

Усагин Иван Филиппович (1855-1919 гг.), предложил замкнутую магнитную систему трансформаторов.

Фарадей Майкл (1791-1867 гг.), Англия, почетный член Петербургской академии наук (1830 г.), физик, основоположник учения об электромагнетизме, открыл электромагнитную индукцию (1831 г.), дал толкование и сформулировал такое понятие, как *«электромагнитная индукция»*.

Ферранти Себастьян Циани (1864-1930 гг.), Англия, электротехник, участвовал в создании электростанции переменного тока (1886).

Феррарис Галилео (1847-1897 гг.), Италия, занимался исследованием трансформаторов, предложил двухфазный асинхронный двигатель.

Флеминг Джон Амброуз (1849-1945 гг.), Англия, радиотехник, разработал конструкцию двухэлектродной лампы (1904 г.).

Форест Ли, де (1873-1961 гг.), США, радиоинженер, руководил фирмами «Американская компания беспроволочного телеграфа де Фореста» и «Де Форест радиотелефон компани», изобрел трехэлектродную вакуумную лампу (1907 г.).

Франклин Бенджамен (1706-1790 гг.), США, физик, государственный деятель, работал в области теории конденсаторов, исследовал атмосферное электричество, изобрел молниеотвод.

Фрейлих (Фрелих) Герберт (1905-1991 гг.), Англия, физик-теоретик, член Лондонского королевского общества, профессор Ливерпульского университета.

Фроман Поль Густав (1815-1865 гг.), Франция, электротехник, создал электродвигатель Фромана (1880 г.).

Фуко Жан Бернар Леон (1819-1868 гг.), Франция, член-корреспондент Петербургской академии наук (1860 г.), физик, осуществил опыт с маятником, определил скорость света в воде и в воздухе, обнаружил электрические вихревые токи, которые в его честь названы токами Фуко.

Хазельвандер Фридрих Август (1859-1932 гг.), Германия, инженер, предложил трехфазную систему с тремя проводами.

Хвольсон Орест Данилович (1879-1934 гг.), профессор Ленинградского университета, физик, автор трудов по электричеству и магнетизму.

Хевисайд Оливер (1850-1925 гг.), Англия, физик, основоположник операторного метода, независимо от Г. Герца записал уравнения Максвелла в современном виде, создал теорию передачи сигналов на дальние расстояния.

Хиорт Серен (1801-1870 гг.), Дания, электротехник, исследовал самовозбуждение генераторов постоянного тока.

Холмс Фредерик Хейль (1886-1944 гг.), Англия, электротехник, предложил использовать мощные генераторы в виде многомашинного агрегата.

Циперновский Карой (1853-1942 гг.), Венгрия, электротехник, занимался теорией и конструкцией трехфазного трансформатора, совместно с М. Дери разработал систему распределения однофазного переменного тока.

Чиколев Владимир Николаевич (1845-1898 гг.), электротехник, заложил основы теории прожекторного освещения.

Шателен Михаил Андреевич (1866-1957 гг.), академик АН СССР, электротехник, один из создателей плана ГОЭЛРО, автор трудов по электротехнике и истории техники.

Швейггер Иоганн Х. (1779-1857 гг.), Германия, Австрия, изобрел прибор электромагнитной системы – индикатор тока (1820 г.).

Шиллинг Павел Львович (1768-1837 гг.), офицер, дипломат, востоковед, изобрел мину, электромагнитный телеграф, электрический кабель.

Шпаковский Александр Ильич (1823-1881 гг.), сконструировал дуговую лампу с автоматическим регулятором.

Штейнмец Чарльз Протеус (1865-1923 гг.), Германия, США, главный инженер проектов в фирме «Дженерал Электрик», автор фундаментального курса ТОЭ.

Щенснович Александр Николаевич (1845-1922 гг.), инженер-технолог, применил для питания Новороссийского элеватора трехфазный ток (1893 г.).

Эдисон Томас Алва (1847-1931 гг.), США, почетный член-корреспондент АН СССР (1930 г.), изобретатель и предприниматель, усовершенствовал телеграф, телефон и лампу накаливания (1879 г.), построил первую в мире общественную электростанцию (1882 г.).

Эльстер Юлиус (1854-1920 гг.), Германия, физик, доктор философии, предложил использовать в вакуумных приборах катоды из щелочных металлов (1910 г.).

Эпинус Франц Ульрих Теодор (1724-1802 гг.), Германия, Россия (с 1757 г.), академик Петербургской академии наук (1756-1798 гг.), физик, исследовал пироэлектричество, сделал попытку математической трактовки электрических и магнитных явлений (1759 г.).

Эрстед Ганс Христиан (1777-1851 гг.), Дания, почетный член Петербургской академии наук (1830 г.), физик, основоположник электродинамики, установил связь между электричеством и магнетизмом.

Юз Дэйвид Эдуард (1831-1900 гг.), Англия, профессор музыки, физик, изобрел буквопечатающий телеграф и угольный микрофон (1855 г.).

Юнг Томас (1773-1829 гг.), Англия, физик, врач, астроном, обосновал и ввел понятие «энергия для кинетической энергии».

Яблочков Павел Николаевич (1847-1894 гг.), электротехник, изобретатель в области электрического освещения и электрических машин.

Якоби Борис Семенович (Морис Герман) (1801-1874 гг.), академик Петербургской академии наук (1842 г.), физик, электротехник, изобрел электродвигатель (1834 г.), создал гальванотехнику (1838 г.) и несколько типов телеграфных аппаратов.

ХРОНОЛОГИЯ ОТКРЫТИЙ И ИЗОБРЕТЕНИЙ В ОБЛАСТИ ОБЩЕЙ ЭНЕРГЕТИКИ, ЭЛЕКТРИЧЕСТВА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

VII-VI в. до н.э. Фалес Милетский наэлектризовал янтарь. Открыл существование статического электричества.

1600 г. Вышел в свет трактат У. Гильберта (Джильберта) (1540-1603 гг.) *«О магните, магнитных телах и о большом магните Земле»*, в котором обобщены научные данные того времени о магнетизме и электричестве и впервые доказано существование магнитного поля Земли.

1660 г. Отто фон Герике (1602-1686 гг.) построил первую электростатическую машину. Это был шар из серы размером с мяч средней величины, насаженный на железную ось, при касании которого ладонями во время его вращения возникала электризация. С помощью этого прибора Герике обнаружил электростатическое отталкивание, электрическое свечение (наэлектризованный серный шар светился в темноте).

1675 г. И. Ньютон (1643-1727 гг.) описал электризацию тел.

1680 г. Д. Папен изобрел паровой котел с предохранительным клапаном.

1690 г. Д. Папен дал описание замкнутого термодинамического цикла паровой машины.

1705 г. Ф. Хауксби создал электростатический генератор на основе стеклянного шара.

1705 г. Т. Ньюкомен изобрел тепловую машину – первую машину, успешно применяемую для подъема воды.

1729 г. С. Грей (1670-1736 гг.) обнаружил, что есть вещества, проводящие электричество, и вещества, не проводящие его.

1733 г. Ш. Дюфе открыл существование двух родов электричества и установил притяжение разноименных зарядов и отталкивание одноименных.

1742 г. Ж. Дезагюлье ввел понятия «проводник» и «непроводник» электричества.

1745 г. П. ван Мушенбрук и Э. Ю. фон Клейст создали первый электрический конденсатор – «лейденскую банку».

1747 г. М. В. Ломоносов (1711-1765 гг.) высказал идею о возможности передачи электричества на большие расстояния и о практическом использовании электричества для металлизации поверхности тел.

1752-1753 гг. М. В. Ломоносов и Г. В. Рихман (1711-1753 гг.) исследовали «небесное» электричество.

1752 г. Б. Франклин (1706-1790 гг.) проводит опыты улавливания атмосферного электричества при помощи воздушного змея и высказывает идею создания молниеотвода (громоотвода).

1759 г. Ф. Эпинус (1724-1802 гг.) открыл и объяснил электрическую поляризацию, существование силовых магнитных линий, взаимодействие магнитных и электрических масс.

1760 г. Дж. Блэк ввел понятие удельной теплоемкости. Положено начало калориметрии.

1760 г. Б. Франклин соорудил первый молниеотвод.

1763 г. И.И. Ползунов разработал проект двухцилиндровой пароатмосферной машины и уже в 1765 году машина была построена, а в 1766 – начала эксплуатироваться.

1783 г. А. Лавуазье и П. Лаплас изобрели калориметр и определили удельные теплоемкости многих твердых и жидких тел.

1784 г. Дж. Уатт построил универсальный паровой двигатель.

1785 г. Ш. Кулон (1736-1806 гг.) установил закон взаимодействия двух наэлектризованных тел и магнитов (закон Кулона).

1790 г. Л. Гальвани (1737-1798 гг.) опубликовал труд *«Трактат о силах электричества при мышечном движении»*, открыл существование электрических токов внутри живых существ и заложил основы электрофизиологии.

1792 г. П. Прево выдвинул теорию теплового равновесия, сыгравшую большую роль в начальный период развития учения о тепловом излучении.

1798 г. Б. Румфорд осуществил опыты, свидетельствующие в пользу механической теории теплоты.

1799 г. Х. Дэви произвел опыты с трением двух кусков льда, подтвердившие, что нагрев тел может быть осуществлен за счет механической работы, и сыгравшие особую роль в опровержении теории теплорода.

1799 г. А. Вольта (1745-1837 гг.) создал электрохимический источник электричества – гальванический элемент («вольтов столб»).

1802-1803 гг. В. В. Петров (1761-1834 гг.) открыл электрическую дугу, электроплавление и электросваривание металлов. В 1803 г. В. Петров опубликовал книгу *«Известие о гальвани-вольтовых опытах, которые производил профессор физики Василий Петров»*, где описал открытую им электрическую дугу и осуществленные с ней опыты (плавка металлов, сжигание различных веществ).

1807 г. Р. Фултон построил первый в мире колесный пароход «Клермонт».

1810 г. Х. Дэви также получил электрическую дугу и провел опыты, подобные опытам В. Петрова.

1813 г. Х. К. Эрстед (1777-1851 гг.) открыл влияние электричества на магнит (магнитную стрелку).

1820 г. А. М. Ампер (1775-1836 гг.) и Д. Ф. Араго (1786-1853 гг.) исследовали взаимодействие двух проводников с током и создали соленоид. А. Ампер ввел в науку понятие о направлении электрического тока и установил закон взаимодействия токов.

1820 г. Ж. Био (1774-1862 гг.) и Ф. Савар (1791-1841 гг.) обнаружили магнитное поле, созданное электрическим током. П. Лаплас (1749-1827 гг.) математически описал это явление.

1821 г. Д. Араго высказал идею вращающегося электромагнитного поля.

1821 г. Х. Деви обнаружил влияние на проводимость тел температуры и материала проводника – установил зависимость сопротивления проводника от его длины, поперечного сечения и температуры.

1821 г. М. Фарадей открыл явление вращения проводника с током вокруг полюса постоянного магнита.

XIX в. А. Т. Болотов (1738-1833 гг.) и Н. П. Кулибин создают емкостные электрические машины для лечения больных.

1821 г. Т. И. Зеебек (1770-1831 гг.) открыл термоэлектричество, создал термоэлектрический источник электричества.

1824 г. С. Карно опубликовал работу *«Рассуждения о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу»*, ставшую впоследствии основой теории тепловых двигателей, заложил основы второго начала термодинамики, рассмотрел цикл теплового двигателя (цикл Карно), имеющий особое значение для термодинамики.

1825 г. Дж. Стефенсоном построен паровоз «Ракета», признанный лучшим на организованном в 1829 г. конкурсе тепловых машин в Англии.

1825 г. У. Стэрджен изобрел электромагнит с железным сердечником.

1827 г. Г. С. Ом (1787-1854 гг.) установил связь между электрическим сопротивлением, напряжением и током – закон Ома, а также ввел понятия электродвижущей силы, электропроводности и силы тока.

1829 г. П. Л. Шиллинг (1786-1837 гг.) изобрел электромагнитный телеграф. Предложил гуттаперчевую изоляцию, затем создал подводную телеграфную линию с резиновой изоляцией.

1831 г. М. Фарадей (1791-1867 гг.) открыл электромагнитную индукцию – взаимодействие электрических и магнитных полей. Показал возможность «превращения магнетизма в электричество», построил прототип электрического генератора (медный диск вручную вращался между полюсами постоянного магнита, при этом возникала электродвижущая сила). Установил законы химического действия электрического тока, совершил ряд открытий в оптике.

1831 г. И. Пикси (1808-1835 гг.) изготовил электрический генератор постоянного тока с коммутатором.

1831 г. Дж. Генри предложил электродвигатель с возвратно-поступательным движением, а С. даль Негро независимо от Дж. Генри построил первый электродвигатель.

1832 г. Братья Пикси сконструировали электрогенератор переменного тока с вращающимися постоянными магнитами.

1832 год. Построены первые магнитоэлектрические машины постоянного тока со стержневым якорем.

1832 г. Э.Х. Ленц (1804-1865 гг.) сформулировал закон о направлении индуктированного тока («закон Ленца»), а также принцип обратимости электрических машин.

1834 г. Ж. Пельтье (1785-1845 гг.) установил явление, обратное термоэлектричеству, открытому Т. И. Зеебеком – эффект Пельтье.

XIX в. (первая половина) Э. Х. Ленц и Д. Джоуль (1818-1889 гг.) одновременно и независимо друг от друга вывели закон теплового действия электрического тока – закон Джоуля-Ленца.

1834 г. Б. С. Якоби (1801-1874 гг.) описал и построил электродвигатель с пульсирующим вращением вала. В 1838 г. был испытан бот Якоби с электродвигателем (на Неве).

1834 г. М. Фарадей открыл и опубликовал законы электролиза.

1837 г. Б. С. Якоби, используя идею М. В. Ломоносова, через 100 лет осуществил нанесение на поверхность тел металлической плёнки (гальванопластика).

1842 г. Д. С. Вулрич изготовил мощный электрогенератор, который вращала паровая машина.

1842 г. Год рождения электроснабжения промышленных предприятий.

1842 г. Б. Якоби создал магнитоэлектрический генератор с постоянными магнитами.

1842 г. Р. Майер открыл закон сохранения энергии, причем независимо от него к открытию этого закона также пришли в 1843 г. Дж. Джоуль и в 1847 г. – Г. Гельмгольц.

1845 г. Дж. Джоуль определил величину механического эквивалента теплоты.

1845 г. Г. Кирхгоф установил закономерности в распределении электрического тока.

1847 г. Вышел в свет труд Г. Гельмгольца *«О сохранении силы»*, в котором с исчерпывающей полнотой сформулирован закон сохранения энергии.

1848 г. Г. Румкорф изобрёл и создал индукционную катушку – прообраз электрического трансформатора.

1848 г. У. Томсон ввел понятие абсолютной температуры и абсолютную шкалу температур (шкалу Кельвина).

XIX в. (середина) Г. Гаусс (1777-1855 гг.), В. Вебер (1804-1891 гг.), Б. С. Якоби (1801-1874 гг.), С. Морзе (1791-1872 гг.) занимались созданием и усовершенствованием электромагнитного телеграфа, изобретённого П. Л. Шиллингом.

1850 г. Р. Клаузиус ввел понятие внутренней энергии и сформулировал второй закон термодинамики, в 1851 г. свою формулировку предложил У. Томсон.

1850 г. У. Ренкин вместе с Р. Клаузиусом предложили схему теплосиловой установки, так называемый цикл Ренкина, являющийся основным циклом теплосиловых установок в современной теплоэнергетике.

1855-1856 гг. С. Хиортом и А. Йедликом были получены первые патенты на способы самовозбуждения электрогенератора.

1859 г. Г. Планте создаёт свинцовый аккумулятор.

1859 г. Г. Кирхгоф открыл закон теплового излучения – закон Кирхгофа.

1860 г. А. Пачинноти получил патент на генератор с якорем и кольцевой обмоткой.

1860 г. Французский инженер Э. Ленуар создал первый поршневой двигатель внутреннего сгорания, усовершенствованную конструкцию двигателя внутреннего сгорания создал в 1878 г. немецкий изобретатель Н. Отто.

1862 г. Бо де Роше предложил схему четырехтактного двигателя внутреннего сгорания со сжатием рабочей смеси газа с воздухом.

1865 г. Р. Клаузиус ввел понятие энтропии.

1866 г. В. Сименс продемонстрировал первую динамоэлектрическую машину.

1867 г. В. Сименс изготовил барабанный якорь и применил на практике принцип самовозбуждения генератора.

1870 г. З. Грамм получил патент на самовозбуждающий генератор с кольцевым якорем.

1871 г. К. Линде создал холодильную машину, в которой охлаждение достигалось за счет расширения газа.

1872 г. А. Н. Лодыгин (1847-1923 гг.) создаёт лампочку накаливания; использует вместо угольных электродов в дуговой свече нить накаливания.

1873-1875 гг. П. Н. Яблочков создаёт безрегуляторную электрическую свечу с каолиновой прокладкой между вертикальными угольными электродами («свечу Яблочкова»); изобретает однофазный трансформатор с разомкнутой обмоткой и индуктивный генератор.

1873 г. Д.К. Максвелл (1831-1879 гг.) создаёт математический фундамент теории электромагнитных взаимодействий (электромагнитной индукции).

1873 г. Ф. Гефнер-Альтенен и В. Сименс создали генератор с барабанным якорем, который имел все основные элементы современной электрической машины постоянного тока.

1873 г. З. Грамм – изобретатель и руководитель строительства первой электростанции (блок-станции).

1874 г. Н. А. Умов выводит уравнение, описывающее движение энергии в телах.

1874-1880 гг. Д. А. Лачинов (1842-1902 гг.) разработал теоретические основы передачи электрической энергии на большие расстояния путем повышения напряжения. Ф. А. Пироцкий осуществил такую передачу.

1876 г. Построена первая в России электростанция (блок-станция) на Сормовском машиностроительном заводе.

1876 г. П. Яблочков изобрел электрическую свечу – «свечу Яблочкова».

1879 г. Построена первая блок-станция в Петербурге.

70-е годы XIX в. А. И. Шпаковский (1823-1881 гг.) создаёт дуговую лампу с электромагнитным регулированием.

1879 г. Т. Эдисон (1847-1931 гг.) усовершенствовал лампу накаливания А. Н. Лодыгина (откачал из баллона воздух и наполнил его инертным газом).

1879 г. Ф. Борель разработал технологию изготовления кабелей со свинцовой оболочкой.

1880 г. К. Фор создаёт кислотно-свинцовый аккумулятор.

1880 г. А. Н. Лодыгин разрабатывает теорию аккумулирования электричества.

1880 г. Т. Эдисон предложил для уменьшения потерь на вихревые токи изготавливать якорь электромашин наборным (из стальных изолированных друг от друга листов).

80–90-е годы XIX в. В. Н. Чиколев (1845-1898 гг.) создал регулятор электрической дуги, применил систему дробления света с помощью световодов (для порохового завода) и стал основоположником отечественной светотехники.

1881 г. Первый Международный конгресс электриков в Париже.

1882 г. И. Ф. Усагин создал первый трансформатор с замкнутым сердечником.

1882 г. М. Депре построил первую опытную линию передачи электрической энергии.

1882 г. Т. Эдисон соорудил в Нью-Йорке первую электростанцию общественного пользования.

80-е годы XIX в. А. Г. Столетов (1838-1896 гг.) открыл доменную структуру и петлю гистерезиса у ферромагнитных материалов.

1884 г. Болард создал трансформатор напряжения.

1884 г. Л. Больцман впервые применил к излучению принципы термодинамики.

1884-1885 гг. Были предложены компенсационная обмотка и дополнительные полюса для улучшения работы электрических машин.

1885 год. О. Блати, М. Дэри, К. Зиперовский создали кольцевой, броневой и стержневой трансформаторы и ввели термин «трансформатор».

80-е годы XIX века. Братья Гопкинсоны разработали теорию электрических цепей.

80-е годы XIX века. Н. Н. Бенардос (1842-1905 гг.) применил электрическую дугу для сварки и резки металлов, используя идеи В.В. Петрова.

80-е годы XIX века. Н. Г. Славянов (1854-1897 гг.) создал электрические машины и аппараты для дуговой сварки. Использовал электрод как средство для создания дуги и как носитель металла.

1885 г. Г. Феррарис (1847-1897 гг.) предложил использовать двухфазный ток, который даёт возможность получить «вращающееся магнитное поле».

1885 г. Н. Тесла (1856-1943 гг.) создал систему двухфазного тока – генератор, трансформатор, двигатель.

1887 г. К. Лаваль изобрел паровую турбину.

1888 г. Л. Гюи доказал тепловую природу броуновского движения.

1888 г. М. Доливо-Добровольский (1862-1919 гг.) создал первый трехфазный генератор переменного тока с вращающимся магнитным полем мощностью 2,2 кВт.

1889 г. М. Доливо-Добровольский создал трехфазный асинхронный электродвигатель, изобрел трансформатор трехфазного тока.

1891 г. Передача трёхфазного тока на расстояние 170 км, которая была продемонстрирована М. О. Доливо-Добровольским во время Второго международного конгресса электриков.

1891 г. Э. Арнольд создает первую теоретическую работу по проектированию электрических машин.

1892 г. М. О. Доливо-Добровольский ввёл понятие об активной и реактивной мощностях.

1893 г. М. О. Доливо-Добровольский опубликовал работу по основам теории и проектированию трансформаторов и асинхронных машин.

1893 г. Г. Феррарис выпустил работу по теории трансформаторов и однофазных двигателей.

1893 г. А. Шенснович проектирует и руководит строительством первой электростанции трехфазного тока в Новороссийске.

1894 г. А. Гейланд предложил круговую диаграмму асинхронной машины.

1895 г. А. С. Попов (1859-1905 гг.) изобрел радио.

1896 г. В. Н. Чиколев и Р. Э. Классон (1868-1926 гг.) руководят строительством гидростанции на реке Охте в Петербурге.

1896 г., 1 марта. А. Беккерель обнаружил новый тип излучения, испускаемого урановыми солями. Констатация этого факта рассматривается как открытие явления радиоактивности.

1897 г. И. Штейнмец создал символический метод изображения векторов на комплексной плоскости.

1897 г. Р. Дизель построил двигатель внутреннего сгорания с предварительным сжатием воздуха и самовоспламенением топлива.

1897 г. Э. Вихерт и Дж. Томсон независимо друг от друга открыли электрон.

1898 г. Г. Шмидт и независимо от него М. Склодовская-Кюри обнаружили радиоактивность тория и его соединений.

1898 г. П. и М. Кюри заявили об открытии полония.

1898 г. П. и М. Кюри и Ж. Бемон сообщили об открытии радия.

1899 г. Паровая турбина впервые была соединена с турбогенератором (1 МВт). С этого времени началось внедрение электричества во все отрасли промышленности.

1899 г. Э. Резерфорд обнаружил неоднородность излучения урана: легко поглощаемую часть излучения он назвал α-лучами, менее поглощаемую – β-лучами.

1900 г. П. Вийяр открыл электромагнитное излучение радиоактивного происхождения, так называемые γ-лучи.

1900 г. Э. Резерфорд открыл газообразный радиоэлемент – эманацию тория, который описывая его свойства ввел понятие периода полураспада.

Конец XIX в. О. Хевисайд создал операционные методы расчёта (в электротехнике).

1901 г. Купер-Хьюит продемонстрировал ртутную лампу низкого давления.

1902 г. Р. Э. Классон (1868-1926 гг.) и А. Б. Красин создают первую энергетическую систему на базе двух электростанций.

1902 г. М. Кюри определила атомную массу радия, равную 225.

1903 г. Э. Резерфорд и Ф. Содди сформулировали основы теории радиоактивного распада.

1905 г. В мастерской Ауэра была изготовлена первая осветительная лампа с вольфрамовой спиралью.

1906 г. Ученый Кух изобрел ртутную лампу высокого давления.

1906 г. Изобретены подвесные керамические изоляторы для высоковольтных линий передач.

1907 г. Впервые на эффект электролюминесценции обратил внимание английский ученый Генри Рауд.

1911 г. Камерлинг-Оннес открыл явление сверхпроводимости.

1911 г. Э. Резерфорд предложил и описал ядерную модель атома.

XX в. (начало) созданы синтетические высокомолекулярные изоляционные материалы (полиэтилен, полистирол, винипласт и другие).

1913 г. Н. Бор сформулировал два основных постулата теории атома: 1) условие существования стационарных состояний атома; 2) условие частот излучения. За основу он принял ядерную модель атома Резерфорда и предположил, что процесс излучения по своему характеру квантовый.

1913 г., 4 декабря. Ф. Содди сформулировал закон радиоактивных смещений и ввел в науку концепцию изотопии.

1913 г. Изобретатель Лангье продемонстрировал публике газонаполненную лампу, получившую впоследствии его имя.

20-е годы XX в. Фортескью создал метод симметричных составляющих (в электротехнике).

1920 г. По инициативе В. И. Ленина принят план ГОЭЛРО (Государственной электрификации России), составленный под руководством Г. М. Кржижановского (1872-1959 гг.).

XX в. (первая половина). В. И. Вернадский (1863-1945 гг.) разработал учение о биосфере и о ноосфере.

1920 г. Э. Резерфорд высказал предположение о существовании нейтрона и тяжелого изотопа водорода.

1922 г. Пуск первой электростанции на торфе в г. Петербурге.

1924 г. Начало развития теплофикации в России.

1926 г. Пуск мощной гидроэлектростанции – Волховской ГЭС; руководил строительством Г. О. Графтио (1869-1949 гг.).

1927 г. Лосев получил патент на «Световое реле».

30-е годы XX в. Э. Арнольд, А. Блондель, Л. Дрейфус, К. А. Круг, В. С. Кулебакин, Бен-Эшенбург и другие создают классическую теорию установившихся режимов электрических машин.

1931 г. Пирани создает натриевую лампу низкого давления.

1932 г. В мае Кокрофт и Уолтон в лаборатории Резерфорда, а в октябре Синельников, Вальтер и Лейпунский в Харькове расщепили ядро лития протонами на две α-частицы.

1932 г. Д. Чедвик (в Англии) открыл нейтрон.

1934 г. И. и Ф. Жолио-Кюри открыли явление искусственной радиоактивности и наблюдали новый вид радиоактивных превращений.

1934 г. Э. Ферми разработал теорию β-распада.

1938 г. О. Ган и Ф. Штрассман открыли явление деления урана медленными нейтронами 1939 г. Л. Мейтнер и О. Фриш дали объяснение механизма деления ядра урана.

1939 г. Я.Б. Зельдович и Ю.Б. Харитон теоретически исследовали цепную ядерную реакцию деления урана быстрыми нейтронами.

30–40-е годы XX в. Т. Крон издал труд по общей теории всех индуктивных машин.

1940 г. К. А. Петржак и Г. Н. Флеров обнаружили явление спонтанного деления урана.

1940 г. Я. Б. Зельдович и Ю. Б. Харитон теоретически исследовали цепную ядерную реакцию деления урана медленными нейтронами и сформулировали условия ядерного взрыва.

1942 г. Б. Кеннингем и Л. Вернер впервые выделили весовые количества чистого плутония.

1942 г., 2 декабря. Под руководством Э. Ферми запущен первый в мире ядерный реактор.

1943 г. Д. Моучли и П. Эккорт построили электронно-вычислительную машину на основе электронных ламп.

1945 г., 16 июля. Впервые в мире был осуществлен ядерный взрыв (в США).

1946 г. Изобретение Шульцем ксеноновой лампы.

1946 г., 6 ноября. Впервые в мире в США достиг критичности первый в мире реактор на быстрых нейтронах «Клементина» с плутонием в качестве топлива.

1946 г., декабрь. Запущен первый в СССР опытный ядерный реактор Ф-1 нулевой мощности.

1951 г. В России построена первая электронно-вычислительная машина МЭСМ под руководством С. А. Лебедева.

1951 г., декабрь. Впервые в мире за счет ядерной энергии получен электрический ток с использованием ядерного реактора EBR-1 (США) на быстрых нейтронах с электрической мощностью 200 кВт.

1951 г. Начался выпуск ламп на основе полупроводниковых светодиодов в промышленных масштабах.

1953 г., 31 мая. В США запущен первый в мире реактор корпусного типа «Марк-1» с водой под давлением (вода – теплоноситель и замедлитель), который стал прототипом современных реакторов PWR и ВВЭР.

1954 г. Построена первая в мире атомная электростанция в Советском Союзе под руководством И. В. Курчатова (1902-1960 гг.) и 27 июня первая в мире промышленная атомная электростанция мощностью 5000 кВт запущена в работу.

1955 г., январь. Первая в мире атомная подводная лодка «Наутилус» с реактором корпусного типа спущена на воду в США.

1958 г. Появились на свет галогенные лампы накаливания.

1961 г. Создан первый светодиод с инфракрасным спектром излучения, который разработали и запатентовали Р. Байард и Г. Питтман.

1962 г. Создана энергосистема в европейской части Советского Союза – ЕЭЭС.

1967 г. Пущена Паужетская геотермальная электростанция.

1972 г. Образована Единая энергосистема Советского Союза и некоторых соседних стран – ЕЭС.

1976 г. Hewlett-Packard запустил производство светодиодов с желтым, красно-оранжевым, желто-зеленым свечением.

1981 г. Ленинградская АЭС достигла проектной мощности – 4000 МВт.

1981 г. Создана глобальная компьютерная сеть «Интернет».

1982 г. Начался выпуск низковольтных галогенных ламп.

1983 г. Изобретены компактные люминесцентные лампы.

1985 г. Саяно-Шушенская гидростанция достигла проектной мощности – 6400 МВт.

1986 г. Д. Беднорц, К. Мюллер открыли высокотемпературную сверхпроводимость керамики.

1991 г. Японский физик Ш. Накамура изобрел долговечный светодиод, излучающий свет в синем диапазоне видимого спектра, положив начало производству современных светодиодных RGB (red, green, blue) экранов и энергосберегающих ламп, поскольку смешение красного, зеленого, голубого свечения дают мощный поток белого света.

1992 г. В России работают 600 тепловых, 100 гидравлических и 9 атомных электростанций.

1994 г. Созданы серно-натриевые аккумуляторы.

2001 г. Пущена Бурейская гидроэлектростанция.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА И ПОНЯТИЯ

История (гр. *historia* – исследование, узнавание, расследование) – исследование в вопросах, касающихся прошлого: 1) действительность в ходе ее развития, движения; 2) прошлое, сохраняющееся в памяти человечества; 3) наука о развитии человеческого общества, областей знания, природы, техники, прогресса, культуры и т.п.

Инженер (лат. *ingium* – способность, выдумка, изобретательность; фр. i*ngenieur*) – специалист, осуществляющий инженерную деятельность. Инженеры вовлечены, как правило, во все процессы жизненного цикла технических устройств, являющихся предметом инженерной деятельности, включая прикладные исследования, планирование, проектирование, конструирование, разработку технологии изготовления (сооружения), подготовку технической документации, производство, наладку, испытание, эксплуатацию, техническое обслуживание, ремонт и утилизацию устройства, а также управление качеством.

Мировая экономика – многоуровневая, глобальная система хозяйствования, объединяющая национальные экономики стран мира на основе международного разделения труда посредством системы международных экономических отношений.

Народное хозяйство – исторически сложившийся комплекс (совокупность) отраслей производства данной страны, взаимосвязанных между собой разделением труда.

Наука – особый вид человеческой познавательной деятельности, направленный на выработку объективных, системно организованных и обоснованных знаний об окружающем мире: 1) то, что поучает, дает опыт, урок; 2) выработка и систематизация объективных знаний о действительности; 3) формирование системы знаний о закономерностях в развитии природы, общества, мышления, техники, культуры и др.

Окружающая среда – среда обитания и деятельности человека, включающая природную среду и созданный им материальный мир, в том числе техногенную среду (здания, дороги, водохранилища и др.).

Отрасль экономики – совокупность предприятий, производящих (добывающих) однородную или специфическую продукцию по однотипным технологиям.

Прогресс (лат. *progressus* – движение вперед, успех): 1) движение вперед, к более совершенному состоянию; 2) изменение к лучшему; 3) переход на более высокую ступень развития.

Техника (гр. *techne* – искусство, мастерство, умение) – совокупность средств человеческой деятельности, создаваемых для осуществления процессов производства и обслуживания непроизводственных потребностей общества.

Технология (гр. *techne* (искусство, мастерство, умение) + *logos* (слово, мысль, смысл, понятие)) – совокупность методов и инструментов для достижения желаемого результата; в широком смысле – применение научного знания для решения практических задач.

Теплоэнергетика – отрасль теплотехники, занимающаяся преобразованием теплоты в другие виды энергии, главным образом в механическую и через неё в электрическую.

Экологическая безопасность – допустимый уровень негативного воздействия природных и антропогенных факторов экологической опасности на окружающую среду и человека.

Электрическая сеть – совокупность подстанций, распределительных устройств и соединяющих их линий электропередачи, предназначенная для передачи и распределения электрической энергии

Электрификация – широкое внедрение в различные отрасли хозяйства и в быт электрической энергии.

Электростанция – электрическая станция, совокупность установок, оборудования и аппаратуры, используемых непосредственно для производства электрической энергии, а также необходимые для этого сооружения и здания, расположенные на определённой территории.

Электротехника – отрасль науки и техники, связанная с применением электрических и магнитных явлений для преобразования энергии, получения и изменения химического состава веществ, производства и обработки материалов, передачи информации, охватывающая вопросы получения, преобразования и использования электрической энергии в практической деятельности человека.

Электроэнергетика – ведущая отрасль энергетики, включающая в себя производство, передачу и сбыт электроэнергии.

Энергия (гр. *energeia* – действие, деятельность, сила, мощь) – это физическая величина, мера разных форм движения и взаимодействия форм материй, их перехода из одних форм в другие. Энергия характеризует способность тела совершать работу.

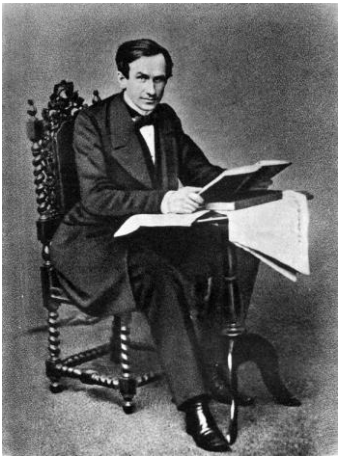
Энергетика – область хозяйственно-экономической деятельности человека, совокупность больших естественных и искусственных подсистем, служащих для преобразования, распределения и использования энергетических ресурсов всех видов. Её целью является обеспечение производства энергии путём преобразования первичной, природной энергии во вторичную, например в электрическую или тепловую энергию.

Энергетическая система (энергосистема) – совокупность энергетических ресурсов всех видов, а также методов и средств для их получения, преобразования, распределения и использования, которые обеспечивают снабжение потребителей всеми видами энергии.

ИЗ ИСТОРИИ САМАРСКОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
(по материалам сайта http://историческая-самара.рф)

С конца XIX в. губернский центр Самара считался одним из наиболее развитых городов Поволжья – по провинциальным, разумеется, меркам. Несмотря на то, что в городе в ту пору проживало всего около 80 тыс. человек, но в тоже время, как и в Москве и Петербурге, уже были водопровод, театры, синематограф, а в 80-х годах появилось также и электричество. Однако к этим благам цивилизации г. Самара шел в течение всей второй половины XIX столетия. В течение первых трехсот лет своей истории Самара оставалась почти целиком деревянной, а ее здания отапливались печами. Пока город был уездным, его улицы ничем не освещались, и по ночам погружались в полный мрак. И лишь с превращением Самары в центр губернии ее внешний облик стал постепенно меняться к лучшему.

Только при втором самарском губернаторе Константине Карловиче Гроте с 1853 по 1860 гг. (рис. П. 4.1, *а*) в Самаре были впервые начаты работы по установке первых 20 фонарей для освещения улиц, работавших на спирто-скипидарной смеси.



а

б

Рис. П. 4.1. Константин Карлович Грот (а) и Альфред фон Вакано (б)

Правда, зажглись они уже после отъезда Грота из Самары – в 1861 г., но зато в конце того же года ночную темноту в городе рас-

сеивало уже свыше 100 таких фонарей. Для содержания этих осветительных приборов городской управой была учреждена специальная статья расходов, а для ухода за ними введены хорошо оплачиваемые должности фонарщиков.

В 1876 г. на смену устаревшим скипидарным светильникам на улицы Самары пришли керосиновые фонари и их число быстро достигло 518, а с 1888 г. в Самарскую городскую управу стали поступать первые предложения на устройство газового освещения – сначала в помещении драматического театра, а потом и в Струковском саду. Самым лучшим оказался проект, представленный владельцем Жигулевского пивоваренного завода Альфредом фон Вакано (рис. П. 4.1, *б*).

Он предложил самарским властям построить по соседству со своим предприятием компактный газовый заводик, где светильный газ можно было бы в большом количестве вырабатывать из нефти, привозимой по Волге. Договор об этом строительстве подписали 22 мая 1889 г., а уже 1 сентября газовая продукция стала поступать на освещение пивзавода и драмтеатра, чуть позже – в городские присутственные места, а летом следующего года – и в уличные светильники, установленные на аллеях Струковского сада.

Почти в то же самое время в Самаре появилась и первая ведомственная электростанция, которая в то время располагалась на крупном коммунальном объекте – городских водозаборных сооружениях (рис. П. 4.2).

Рис. П. 4.2. Первая ведомственная электростанция Самары

В августе 1885 г. в городе началось строительство водопровода. При этом один из пунктов договора о его сооружении гласил, что одновременно в городе должна быть устроена электрическая сигнализация с пятнадцатью оповещательными станциями, причем ее конструкция исключала ложные вызовы по пожарной тревоге, а

также имела защиту от хулиганов и воров. Подписание акта о сдаче водопровода в полную эксплуатацию в Самаре состоялось 1 января 1887 г. Одновременно электрический ток от агрегатов водозаборной станции был подан в систему сигнализации, и тогда же вспыхнули несколько электрических светильников, установленных на административном здании. Это были первые в городе фонари, питаемые от принципиально нового источника энергии, ранее еще не виданного самарцами.

Продолжение коммунальной революции в Самаре также связано с Жигулевским пивоваренным заводом и с его владельцем А. Ф. фон Вакано. Как известно, это предприятие выдало свою первую продукцию 10 февраля 1881 г., но этой датой развитие заводских служб и территорий отнюдь не ограничилось. Уже через несколько лет при пивзаводе был создан целый комплекс объектов коммунального хозяйства, оснащенных по последнему для того времени слову техники. В первую очередь это была паровая установка, которая приводила в движение многочисленные механизмы и конвейерные линии предприятия, а также котельная, работавшая на мазуте. При ней тогда же построили хранилище нефтепродуктов, которое на то время было крупнейшим в Самаре – на его территории располагались даже резервуары на 3 тыс. т мазута (рис. П. 4.3).

Рис. П. 4.3. Резервуары для мазута на территории пивзавода

Высшим инженерным достижением Альфреда фон Вакано стало возведение в 1898 г. заводской электростанции с первоначальной мощностью 150 кВт, которая стала питать систему электрического освещения не только в производственных цехах, но и в квартирах заводского персонала (рис. П. 4.4).

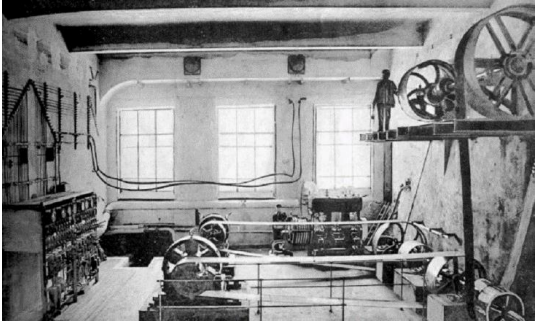


Рис. П. 4.4. Заводская электростанция с мощностью 150 кВт

В связи с завершением ее строительства 16 мая 1898 г. фон Вакано сообщил самарским властям, что он прекращает производство светильного газа и закрывает газовый заводик, поскольку «с указанной даты пивоваренный завод, драматический театр и Струковский сад будут освещаться электричеством» (рис. П. 4.5).

Рис. П. 4.5. Электрические фонари на улицах Самары

Еще через полгода после этого события в городе был введен в эксплуатацию другой крупный ведомственный энергокомплекс – теперь уже на территории Самарской губернской тюрьмы на улице Ильинской (в настоящее время улица Арцыбушевская) (рис. П. 4.6).

Рис. П. 4.6. Самарская губернская тюрьма

Ее торжественная сдача состоялась 1 декабря 1898 г., причем одним из наиболее дорогостоящих объектов тюремного комплекса была мощная электростанция. Здание, где она размещалась, состояло из двух помещений – котельного отделения и машинного, в котором стояли две паровые 52-сильные динамо-машины. Дым из тюремной котельной отводился через восьмигранную кирпичную трубу, которая возвышалась позади электростанции. Котельная отапливалась нефтью и мазутом, и поэтому рядом с корпусом была сооружена огромная емкость для единовременного хранения 20 тысяч пудов топлива. Электростанция давала ток для всех тюремных корпусов, подсобных помещений и тюремного двора, на котором стояли восемь электрических фонарей по 900 свечей каждый. Электрические лампы были установлены и в каждой тюремной камере: в одиночных – на 8 свечей, а в общих – на 10 свечей. Кроме того, в коридорах через равные расстояния висели такие же лампы по 16 свечей каждая.

Сооружение всех электросистем в самарских «Крестах» обошлось казне в громадную по тем временам сумму – в 41.000 руб. При этом необходимо отметить, что устройство электрического освещения в тюрьме в конце XIX в. многие современники само по себе считали настоящим чудом. Большинство арестантов, оказавшись в камере «Крестов», особенно мужики из отдаленных деревень, вообще впервые в жизни видели электрическую лампу, недоумевая при этом, как она может светиться без видимого пламени. Показателен и такой факт: за весь первый год работы новой самарской тюрьмы лишь однажды лампочка была испорчена по вине заключенного, да и тот при этом «находился в ненормальном

состоянии». Прочие же арестанты откровенно боялись притрагиваться к электрическим проводам и приборам, опасаясь сокрушительного действия незнакомой им силы природы.

В то время, когда самарские заключенные уже наслаждались электрическим освещением в своих камерах, приглашенные из столицы инженеры еще только проектировали первую в нашем городе общественную электростанцию (рис. П. 4.7).

Рис. П. 4.7. Столичные инженеры, приглашенные для проектирования общественной электростанции г. Самара

Еще раньше, начиная с 1896 г., Самарская городская управа проводила торги на устройство электрического освещения на центральных улицах города. Источником питания для уличных светильников как раз и должна была стать проектируемая электростанция. Кандидатов в генеральные подрядчики работ по устройству уличной электросети было несколько, но в итоге в 1898 г. предпочтение было отдано фирме под названием «Центральное электрическое общество в Москве».

Что касается общественной электростанции, то ее сооружение началось в том же 1898 г. на берегу Волги (рис. П. 4.8), неподалеку от Симбирского спуска (в настоящее время Ульяновский), в непосредственной близости от Жигулевского пивоваренного завода Альфреда фон Вакано и водозаборных сооружений городского водопровода. Согласно проекту, это электрическое предприятие должно было работать на нефтяном топливе, договор на поставку которого городская управа заключило с акционерным обществом «Товарищество нефтяников», принадлежавшем ставшим впоследствии знаменитыми шведским предпринимателям – братьям Людвигу, Эммануэлю и Альфреду Нобелям. Последний из них, как известно, завещал после своей смерти использовать его капиталы для выплаты премий за выдающиеся достижения в науке, ныне из-

вестные как Нобелевские премии (рис. П. 4.9). Что же касается поставки нефтепродуктов для Самарской электростанции, то Нобели обязались их поставлять со своей перевалочной базы, расположенной близ железнодорожной станции Батраки (ныне город Октябрьск).

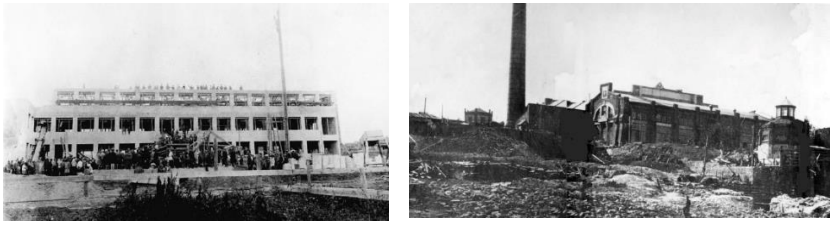


Рис. П. 4.8. Внешний вид общественной электростанции г. Самара

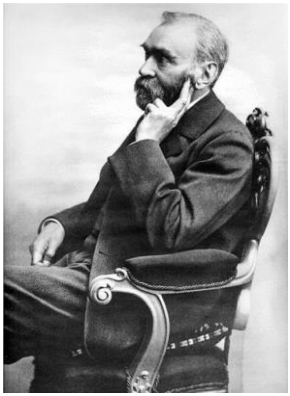


Рис. П. 4.9. Альфред Нобель

Пробный пуск первой очереди этой первой в Самаре электростанции, предназначенной для обслуживания широких масс населения, состоялся в ноябре 1900 г. В это время ее динамо-машины развивали мощность в 300 с небольшим киловатт, что по нынешним временам выглядит по меньшей мере скромно, однако для конца XIX в. считалось крупным техническим достижением. В полном же объеме строительство Самарской общественной электростанции завершилось только в 1901 г. (рис. П. 4.10).

Рис. П. 4.10. Внешний вид завершенного строительства общественной электростанции г. Самара

В момент окончательной сдачи этого энергетического предприятия в эксплуатацию силовые агрегаты уже достигали мощности в 660 кВт. Впоследствии станция не раз расширялась, и ее самая крупная дореволюционная реконструкция была проведена в течение 1912-1915 гг., когда здесь были установлены немецкие вертикальные водотрубные котлы и другое оборудование для электростанций системы Гарбе (рис. П. 4.11).

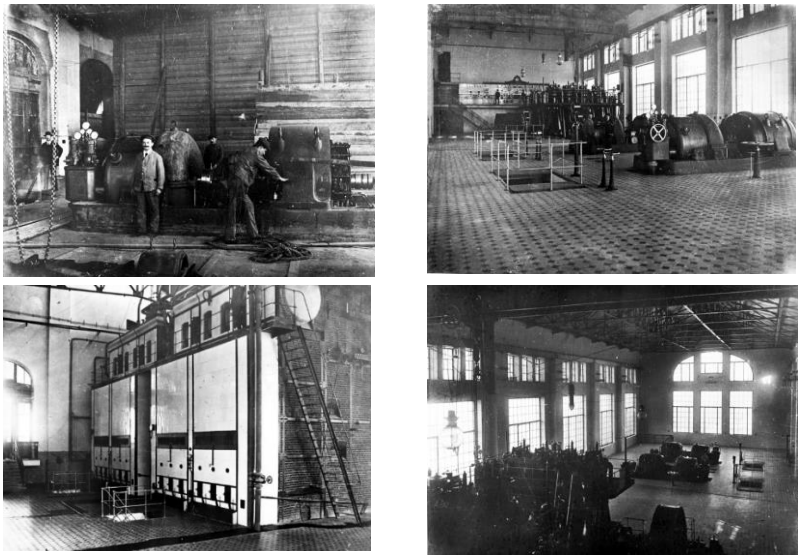


Рис. П. 4.11. Внутреннее обустройство оборудованием системы Гарбе общественной электростанции г. Самара

В настоящее время эта станция по-прежнему располагается на берегу Волги, и горожанам она известна как Самарская ГРЭС.

Свое дальнейшее развитие энергетические предприятия и системы Самарской губернии получили уже после Октябрьского переворота 1917 г. Как известно, в 20-х годах XX в. советская власть в своей энергетической политике большое значение стала придавать строительству гидроэлектростанций. А самые первые проекты возведения ГЭС на Волге появились еще в дореволюционное время.

Еще в начале XX в., во времена бурного развития электротехники и энергетики, сразу у нескольких русских инженеров возникла мысль: хорошо бы для получения дешевой гидроэнергии использовать быстрое течение Волги, которую в среднем течение сжимают между собой Жигулевские и Сокольи горы. Первым о такой возможности в начале XX века заговорил тогда еще безвестный самарский инженер Глеб Максимилианович Кржижановский.

В 1910 г. он сделал расчеты для своего проекта, а в 1913 г. на заседании Самарского технического общества выступил с подробным докладом о принципиальной возможности сооружения ГЭС в самом узком месте Средней Волги – в Жигулевских воротах.

Проект вызвал в Самаре настоящий переполох. О накале страстей говорит хотя бы такой факт: 9 июня 1913 г. в город Сорренто, что в Италии, где в то время жил владелец всех Жигулевских земель граф Орлов-Давыдов, пришла телеграмма от архиерея Самарского и Ставропольского Симена. В депеше тот слезно умолял графа: «…призываю на Вас Божию благодать, прошу принять архипастырское извещение: на ваших потомственных исконных владениях прожектеры Самарского технического общества совместно с богоотступником инженером Кржижановским проектируют постройку плотины и большой электрической станции. Явите милость своим прибытием сохранить Божий мир в Жигулевских владениях и разрушить крамолу в зачатии».

Граф счел идею Кржижановского сумасбродной и даже не подумал вернуться в Россию по столь незначительному поводу. Он лишь поручил своему управляющему в Самаре дать категорический отказ на такое строительство. Однако через некоторое время, в 1916 г., в Русское техническое общество поступил проект молодого инженера Константина Богоявленского (рис. П. 4.12), который дополнял идею Кржижановского о создании на Самарской Луке мощного гидроузла. В дополнение к плотине гидроэлектростанции, поставленной в Жигулевских воротах, Богоявленский предлагал также прорыть канал через узкий Переволокский перешеек, а в этом канале построить еще одну ГЭС. По мысли инженера, сооружение такого комплексного технического узла позволило бы Самаре в

кратчайшие сроки стать одним из ведущих мировых центров энергетики. Но, несмотря на эти теоретические выкладки, вплоть до 1920 г. к проектам перекрытия Волги плотинами ГЭС никто серьезно не относился.

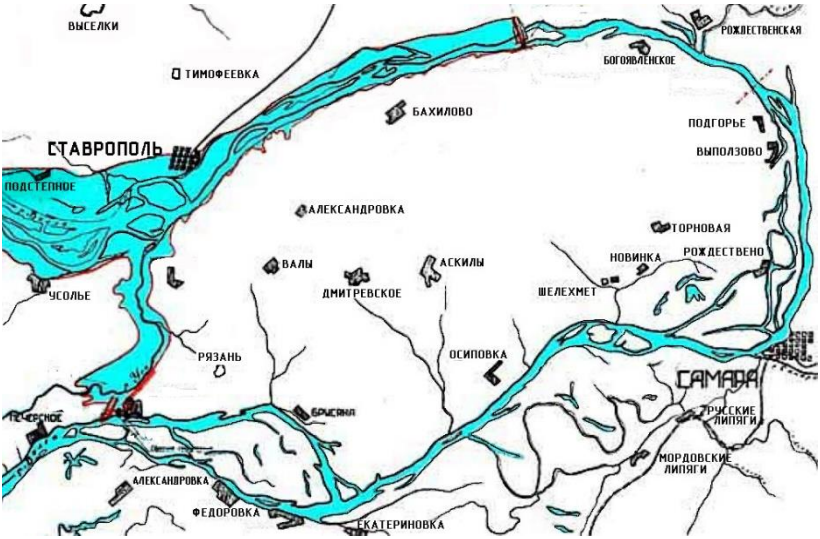


Рис. П. 4.12. Обустройство Самарской Луки для создания мощного гидроузла

В течение первых лет советской власти в отношении энергетического обеспечения России возобладало старое, уже хорошо испытанное направление: строить тепловые электростанции и сжигать на них горючие полезные ископаемые. В частности, в Самарской губернии уже с 1918 г. началось освоение месторождения сланцев у поселка Кашпир, которое было еще в 1768 г. обнаружено путешественником П. С. Палласом (рис. П. 4.13, *а*).

В 1830 г. геологи Широкшин и Гурьев, изучавшие правый берег Волги вниз от Самары писали об этом в «Горном журнале» следующее: «В случае нужды сей шифер (так в то время называли сланец) мог бы быть разрабатываем для отопки печей или для употребления на пароходах…».

Об этих запасах вспомнили в то время, когда из-за гражданской войны центр России оказался отрезанным от месторождений бакинской нефти. Поэтому уже летом 1918 г. по инициативе главы только что созданного Геологического комитета РСФСР И. М. Губкина (рис. П. 4.13, *б*) на Среднюю Волгу специально для разведки месторождений горючих сланцев были направлены две геологические партии. А в начале 1919 г. председатель Совнаркома В. И. Ленин,

внимательно изучив данные геологов, сделал следующий запрос в научно-технический отдел ВСНХ РСФСР: «Выяснить, что сделано по организации добычи горючего из сланцев Сызранского уезда и казанской нефти». Вскоре после этого в структуре Геологического комитета был создан главк под названием Главсланец, в химической лаборатории которого в октябре 1919 г. были получены первые образцы керосина и некоторых других продуктов из кашпирского горючего камня.

а

б

Рис. П. 4.13. П. С. Паллас (а) и И. М. Губкин (б)

В начале 1920 г. Ленину был представлен проект размещения предприятий по переработке горючих сланцев на территории России. В нем Губкин, ссылаясь на большой опыт добычи сланцев в Веймарне (Прибалтика) и на наличие на местных рудниках материальной базы, предлагал строить первый в стране сланцеперегонный завод и электростанцию в этом приграничном районе, а не под Сызранью. Однако Ленин, внимательно изучив направленные ему предложения, в марте 1920 г. поручил ответить Губкину следующее: «…я не убежден его доводами… Перегонный завод надо строить на Волге, ибо Веймарн очень близок к границе». В результате по указанию Ленина в конце 1920 г. в Кашпире началось возведение этого химического предприятия и электростанции, работающей на горючем сланце (рис. П. 4.14).

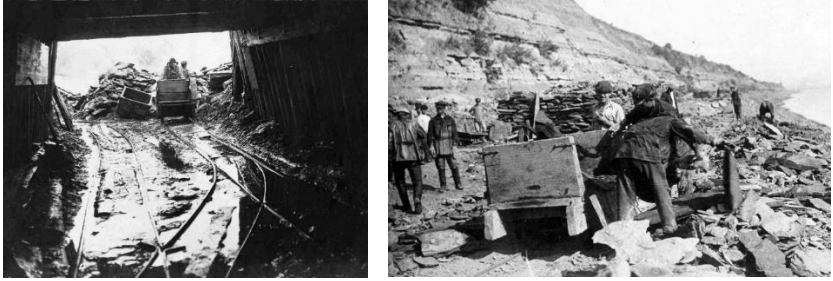
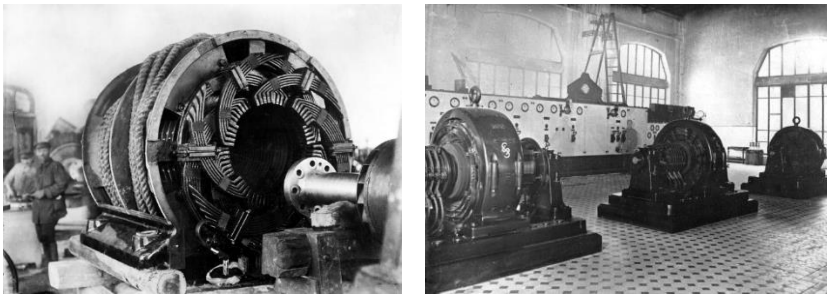


Рис. П. 4.14. Работы на Кашпире по возведению химического предприятия и электростанции, работающей на горючем сланце

На Самарской ГРЭС (впоследствии – Куйбышевская ГРЭС) в течение 1920-1922 гг. провели очередную модернизацию оборудования, несмотря на экономические трудности, голод и разруху, царившую в стране после окончания гражданской войны. Здесь всего за два года сумели заменить отслужившие свой срок котлы, вместо которых на станции установили новые, самые современные, а также обновили генерирующие мощности и прочее энергетическое хозяйство (рис. П. 4.15).

Одновременно с развитием топливной энергетики ВСНХ РСФСР также признал необходимым и строительство гидроэлектростанций на крупнейших реках страны. В связи с этим в феврале 1920 г. по инициативе В. И. Ленина была образована Государственная комиссия по электрификации России (ГОЭЛРО), главой которой был назначен Г. М. Кржижановский. Как известно, первой станцией в Поволжье, сооруженной в соответствии с этим планом, стала Сызранская ГЭС на реке Сызрань, которая вступила в строй действующих 6 ноября 1929 г. (рис. П. 4.16).



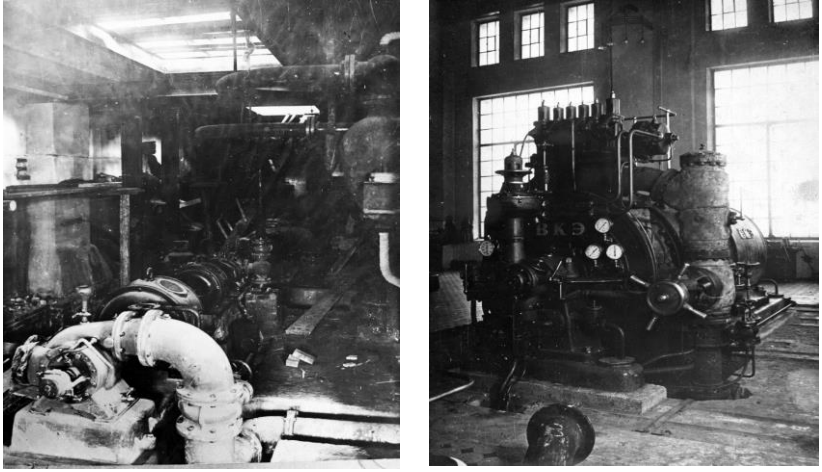


Рис. П. 4.15. Модернизация Самарской ГРЭС

Рис. П. 4.16. Сызранская ГЭС на реке Сызрань

Вскоре после ввода в эксплуатацию этой электростанции приказом по Главному управлению народного хозяйства СССР «Главэнерго» № 504 от 29 декабря 1932 г. Средне-Волжское районное энергетическое управление было преобразовано в Самарский энергетический комбинат («Энергокомбинат»). В 1935 г. после переименования нашего города это ведомство стало называться «Куйбышевским энергокомбинатом». Забегая вперед, скажем, что в 1941 г. эта структура вновь была преобразована в Куйбышевское районное энергетическое управление «Куйбышевэнерго».

В предвоенные годы самым крупным энергетическим объектом не только Самарской губернии, но и всей страны предполагалось сделать Волгострой – громадную гидроэлектростанцию, которая в соответствии с планом Кржижановского, в свое время напугавшим архиерея, должна была встать в створе Жигулевских ворот

севернее Самары. Несмотря на все принятые меры, развивающемуся Средневолжскому региону по-прежнему остро не хватало электроэнергии. В связи с этим в 1930 г. ЦК ВКП (б) принял постановление, в котором Госплану СССР поручалось «повернуться лицом к Волгострою, составить проект, выявить все возможности его сооружения». Предполагалось, что уже 1 апреля 1932 г. Совнаркомом СССР будет утвержден проект такого строительства и начата его реализация, чтобы в 1937-1938 гг. важнейший народнохозяйственный объект был принят в эксплуатацию.

Уже в начале 1931 г. в Жигулевские горы прибыли особые изыскательские партии института «Водно- и инженерно-геологические исследования для Волгостроя», которые работали здесь под общим руководством инженера А. С. Баркова (рис. П. 4.17).

Отряды геологов изучали потоки подземных жигулевских вод, уточняли внутреннее строение горных массивов, наносили на карту разноообразные карстовые структуры, в первую очередь малоизученных пещерных систем, некоторые из которых, как тогда выяснилось, пронизывали всю горную толщу Жигулей чуть ли не насквозь. Вывод геологов был однозначным: из-за громадного числа подобных трещин, пустот и полостей почти сразу же после сооружения плотины начнется утечка воды из водохранилища в обход гидроузла. А подобный катаклизм, предсказывали геологи, вызовет почти мгновенное затопление не только всей территории Самары, но и множества других городов, находящихся ниже ее по течению Волги.

Рис. П. 4.17. А. С. Барков

Именно благодаря этим подробнейшим изысканиям геологов из группы А. С. Баркова правительство СССР уже после Великой

Отечественной войны было вынуждено отказаться от проекта возведения ГЭС в Жигулевских воротах, и перенести ее строительство на 80 км выше по течению Волги – в район города Ставрополя. Здесь, как известно, впоследствии и началось сооружение гидроузла, в то время крупнейшего в мире.

Впрочем, в начале 30-х годов никто, конечно же, всерьез не задумывался о возможных негативных последствиях сооружения Волгостроя. После завершения проектных изысканий вышло в свет постановление СНК СССР и ЦК ВКП (б) «О строительстве Куйбышевского гидроузла и гидроузлов на р. Каме» от 10 августа 1937 г., которое положило начало практическим работам по возведению ГЭС у Самарской Луки. В нем, в частности, говорилось следующее: «В целях дальнейшей электрификации центральных районов Европейской части СССР, осуществления широкого орошения Заволжья и улучшения судоходных условий на р. Волге осуществить строительство плотин, гидростанций и шлюзов на Самарской Луке у г. Куйбышева и строительство оросительных сооружений».

Проектное задание Волгостроя предполагалось представить на утверждение правительства к 1 января 1938 г., а технический проект со всеми приложениями – к 1 мая 1939 г. Тогда же макет Куйбышевского гидроузла демонстрировался на выставке в Нью-Йорке (рис. П. 4.18).

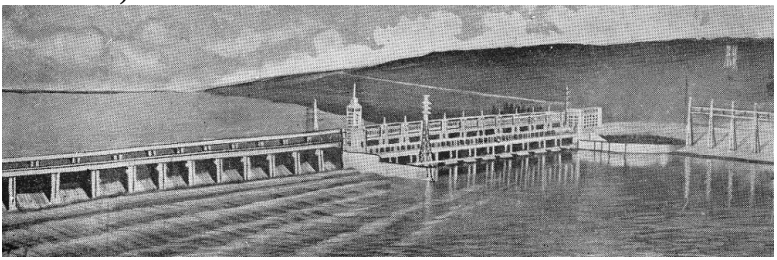


Рис. П. 4.18. Макет Куйбышевского гидроузла

Здесь он был представлен как «реальность, проводимую в жизнь твердой рукой великого руководителя нашей страны товарища Сталина», а также как «величайшее сооружение Сталинской эпохи». А газеты в ту пору писали следующее: «Экономическое значение Куйбышевского гидроузла настолько важно, что его даже трудно переоценить. Он создает серьезную материальную базу коммунизма и наносит ощутимый удар капиталистическому миру».

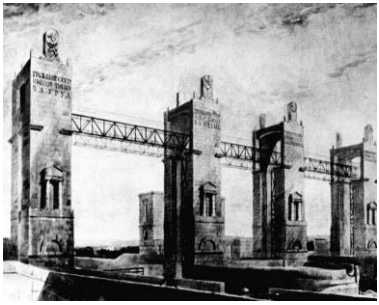
Куйбышевский гидроузел в основном собирались построить в третьей пятилетке (1937-1942 гг.) (рис. П. 4.19).

Однако уже на стадии планирования работы над «великим сооружением» прочно забуксовали. Ни проектное задание, ни технический проект в указанные выше сроки так и не были подготовлены. Лишь в июне 1939 г. правительством было утверждено проектное задание, а срок сдачи технического проекта был перенесен на 1 июня 1940 г. Однако и к этому дню необходимые документы еще не были готовы.

Тем не менее для обеспечения всех важнейших объектов рабочей силой после упоминавшегося выше постановления СНК СССР и ЦК ВКП (б) от 10 августа 1937 г. было принято другое постановление Совнаркома – на этот раз закрытое. В нем говорилось о создании в Средневолжском регионе специализированной строительной организации – Управления строительства Куйбышевского гидроузла (СКГУ) и Самарского исправительно-трудового лагеря (Самарлага).

Возведение Волгостроя началось именно в те годы, когда в лагеря хлынула печально известная «ежовская» волна политзаключенных.

Уже к 1 января 1938 г. в только что образованный Самарлаг прибыли новые «подопечные» главы НКВД Н. И. Ежова, которых в документах того времени называли сокращением «з/к». В общей сложности политзаключенные в это время составляли более трети от числа всего лагерного населения.



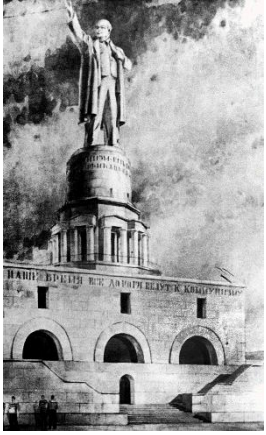


Рис. П. 4.19. Проект обустройства Куйбышевского гидроузла

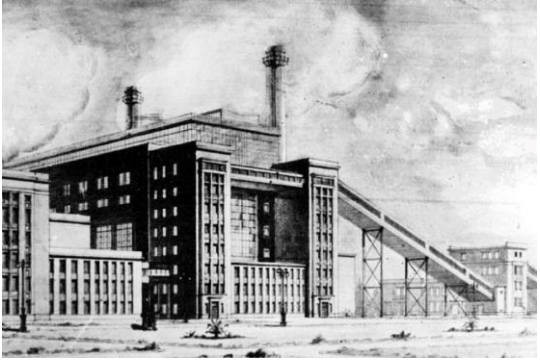
Громогласно заявив о начале возведения Куйбышевского гидроузла, советское правительство с самого начала работ столкнулось с множеством трудностей – в первую очередь с организационными и финансовыми. Несмотря на все проверки и вызовы «на ковер», положение дел на строительстве гидроузла так и не улучшилось. В итоге в начале 1940 г. при Совнаркоме РСФСР была образована постоянно действующая комиссия по вопросам строительства Куйбышевского гидроузла, а на деле – комиссия по изучению ситуации, складывающейся на этом важнейшем объекте. Итогом ее работы стало постановление правительства от 24 сентября 1940 г. о свертывании всех работ на СКГУ и о ликвидации Самарлага. Полная консервация строительства ГЭС была завершена лишь 20 июня 1941 г., всего за два дня до начала Великой Отечественной войны.

Сразу же после принятия решения Совнаркома о консервации строительства Куйбышевского гидроузла председатель СНК СССР В. М. Молотов (рис. П. 4.20) подписал другой секретный документ – постановление от 25 сентября 1940 г. В нем говорилось о создании в Куйбышевской области Управления особого строительства (Особстроя) и приданного ему Безымянского исправительно-трудового лагеря (Безымянлага) с размещением их в районе железнодорожных станций Безымянка и Кряж в окрестностях Куйбышева.

Рис. П. 4.20. В. М. Молотов

В соответствии с постановлением правительства на баланс вновь созданного Особстроя были переданы отдельные объекты законсервированного Куйбышевского гидроузла – как готовые, так и недостроенные, а в ведение Безымянлага – многие сооружения и лагпункты бывшего Самарлага. В числе прочего новой структуре передавались также Безымянская ТЭЦ (БТЭЦ) и Куйбышевская ТЭЦ с отходящими от них линиями электропередач.

Безымянская теплоэлектроцентраль была запроектирована уже непосредственно в разгар работ по возведению Волгостроя (рис. П. 4.21), когда на строительстве столкнулись с острой нехваткой электроэнергии. Где же ее тогда было взять? Единственная крупная электростанция нашего региона, Куйбышевская ГРЭС, к тому времени уже исчерпала все резервы своих мощностей, и сама нуждалась в очередной модернизации. Выход был только один: в короткие сроки построить в областном центре новый источник электрической и тепловой энергии.



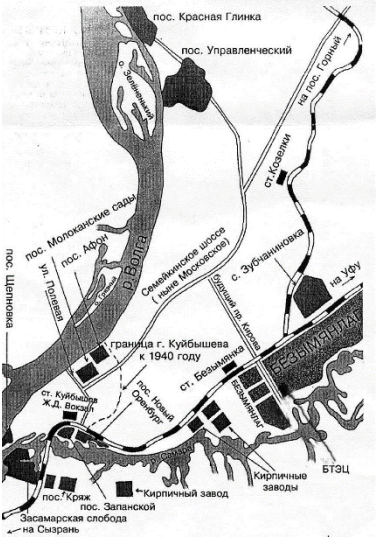


Рис. П. 4.21. Проект Безымянской теплоэлектроцентрали

Таким объектом и должна была стать Безымянская ТЭЦ, решение о возведении которой Совнарком СССР принял 14 мая 1938 г. Проект станции заказали Московскому отделения института «Теплоэлектропроект», а площадку для нее выбрали между линией железной дороги и берегом реки Самары. Пуск первого агрегата ТЭЦ, согласно плану, наметили на последние месяцы 1939 г., а к началу 1941 г. станция должна была выйти на свою проектную мощность. Сейчас мы уже знаем, что выдержать эти жесткие сроки строителям так и не удалось.

Одной из причин задержки строительства БТЭЦ стала уже упоминавшаяся консервация работ по возведению всего Куйбышевского гидроузла, которая началась в августе 1940 г. В итоге все

недостроенные объекты СКГУ, в том числе и Безымянская ТЭЦ, так сказать, «по наследству», перешли в ведение Управления Особого Строительства (УОС, или Особстрой) НКВД СССР – новой организации, специально созданной для возведения в Куйбышеве группы авиационных заводов.

В 1940-1941 гг. силами Особстроя предполагалось произвести реконструкцию и расширение Куйбышевской ТЭЦ (ныне Куйбышевская ГРЭС), а также завершить строительство Безымянской ТЭЦ. Выше уже говорилось, что Куйбышевская ТЭЦ под названием Самарской общественной электростанции была сдана в эксплуатацию в 1901 г. С того времени капитально реконструировалась только один раз в царское время – в 1913-1914 гг., и один раз в советский период – в начале 20-х г. Конечно же, здесь регулярно проводился плановый ремонт, но тем не менее за минувшие десятилетия многие ее агрегаты морально устарели, и требовали замены или модернизации.

Что же касается Безымянской ТЭЦ, то еще в 1939 г. от нее до Красной Глинки заключенные Самарлага проложили линию электропередач. Но после консервации всех объектов Куйбышевского гидроузла эта ЛЭП и передаваемая по ней электроэнергия использовалась в первую очередь для нужд строительства завода №207. На самой же БТЭЦ в 1940 г. из-за недостатка финансирования был смонтирован только один котел из запланированных трех, а также возведена одна высокая дымовая труба. Вот в таком состоянии в сентябре 1940 г. объект и передали на баланс только что созданного Особстроя.

Осенью 1940 г. в бараках Безымянлага находилось свыше 22 тыс. человек, но в дальнейшем количество заключенных здесь стало расти стремительными темпами. Если в январе 1941 г. в здешних лагпунктах насчитывалось 42903 человека, то через год население Безымянского исправительно-трудового лагеря достигло рекордного для всех военных лет уровня: в январе 1942 г. на промышленных объектах Особстроя только по официальным данным работало 81278 заключенных, а по неофициальным – до 100 тыс. Это означает, что зимой 1941-1942 гг. Безымянлаг по численности заключенных был крупнейшим местом лишения свободы в СССР.

Даже в наиболее «населенных» лагерях того времени (на Колыме и Северном Урале) в среднем содержалось в 2-3 раза меньше осужденных.

К началу 1941 г. территорию Безымянского исправительно-трудового лагеря окружал деревянный забор, обвитый сверху колючей проволокой и уходящий на 200 м к югу от железнодорожной

магистрали, где он пересекал земляную дорогу (впоследствии - улица Псковская, а ныне – улица Земеца), а затем встречался с только что проложенной от Безымянской ТЭЦ линией электропередач. Недалеко от берега реки Самары он полукольцом охватывал существовавший еще с 1937 г. отдельный лагерный пункт бывшего Самарлага, который в структуре Особстроя получил название «лагерный участок №5». К тому времени на этой площадке уже несколько лет жили и работали заключённые, занятые на строительстве Безымянской теплоэлектроцентрали.

Кроме работы на стройке, здешние заключенные также обслуживали электроподстанцию, инструментальный цех и пекарню, которая располагалась в бараке неподалеку от ТЭЦ, на нынешней улице Береговой. Правда, после начала Великой Отечественной войны была изменена нумерация не только у сооружаемых предприятий, но и у закрепленных за ними лагерных подразделений, а также профиль выполняемых ими работ. В частности, жилищное и бытовое строительство передали в сферу деятельности лагерного участка №5. Поэтому во избежание путаницы в последнем был отдельно выделен лагпункт «ТЭЦ», поскольку Безымянская теплоэлектроцентраль, согласно решению СНК СССР, тогда же вошла в перечень важнейших пусковых объектов Особстроя.

Начальником отдельного района №5 в конце 1940 г. назначили майора госбезопасности Федора Долгова, а главным инженером – старшего лейтенанта Александра Зилберберга. Впоследствии в районе №5 образовался также особый лагпункт «ТЭЦ», поскольку Безымянская теплоэлектроцентраль, согласно решению СНК СССР, вошла в перечень важнейших пусковых объектов страны. В начале 1940 г. в этом лагпункте находилось около 6 тысяч заключенных, но уже через несколько месяцев их число было доведено до 20 тыс. По оценкам специалистов, к моменту передачи БТЭЦ в ведение Особстроя, для окончательного ввода станции в действие требовалось еще не менее полутора лет бесперебойного труда. Однако жизнь вскоре внесла коррективы в эти планы: началась Великая Отечественная война.

В течение первых военных месяцев в Куйбышевскую область были эвакуированы десятки промышленных предприятий. Для работы каждого из этих заводов требовалось много электроэнергии, которой в городе в то время остро не хватало. Для увеличения ее выработки надо было срочно форсировать строительство Безымянской ТЭЦ, но и для этой стройки тоже требовалось электричество. В связи со сложившейся ситуацией в конце августа 1941 г. в городе пришлось вводить режим жесткой экономии энергии. По решению

обкома ВКП (б) свет в жилые дома подавался лишь по полтора часа утром и вечером. В остальное время электричеством снабжались только оборонные предприятия, которые продолжали прибывать в Куйбышев с западного направления.

Крайним сроком пуска первой очереди Безымянской ТЭЦ в решении Совнаркома был назван октябрь 1941 г. Вот как вспоминал о том нелегком времени первый директор теплоэлектроцентрали Владимир Смирнов: «Я принял Безымянскую ТЭЦ 12 июля 1941 г., зная, что пустить ее надо как можно скорее. Вместе со мной на площадку прибыли еще несколько специалистов. Что мы увидели? Строительство находилось в самом разгаре. Закончены, но еще в лесах, главный корпус, котельный и турбинный залы… А строителей – как птиц весной на деревьях, только черенки лопат мелькают. И над всем этим – огромный плакат: «Родина в опасности!»

Смирнов начал свою работу на ТЭЦ в сложнейшей ситуации, когда на объекте остро не хватало рабочих рук, и особенно квалифицированных кадров, не поставлялись вовремя самые необходимые материалы и оборудование, а темпы строительства ему установили чрезвычайно высокие. В этих экстремальных условиях 15 октября 1941 г. на Безымянской ТЭЦ, вопреки всему, был поставлен под нагрузку первый турбоагрегат. Со стороны это выглядело вполне буднично: рабочие растопили котел, подняли в нем давление, продули паропроводы, и горячий пар пошел на турбину. Это делалось строго по технологии, как и положено, только все происходило максимально быстро. Рабочие и инженеры прекрасно понимали, какая ответственность в тот момент ложилась на каждого из них (рис. П. 4.22).

Рис. П. 4.22. Строительство Безымянской теплоэлектроцентрали

Предписанные нормативами 72-часовые испытания успешно выдержали все – и котел, и турбина, и насосы, и трубопроводы, и

самое главное – люди. В итоге 18 октября 1941 г., когда государственная комиссия подписала акт о приемке Безымянской ТЭЦ в эксплуатацию, выработанное ею электричество впервые было подано в объединенную энергосистему Куйбышевской области (рис. П. 4.23).

Рис. П. 4.23. Безымянская теплоэлектроцентраль

Заработала первая турбина АТ-25 с генератором мощностью 25 тыс. кВт. Одновременно начал действовать также и котел производительностью 200 т пара в час, необходимого городу для отопления, а промышленным предприятиям – для работы.

Специалисты-энергетики при этом отмечают, что в мирное время ни один директор строящейся электростанции никогда не стал бы ставить под нагрузку генератор, не имея при этом на объекте резервных агрегатов. В октябре 1941 г. Смирнов пошел на этот риск осознанно, что объяснялось тяжелой военной обстановкой в стране. И если бы тогда на станции вдруг случилась авария – не сносить бы директору головы.

Первый турбоагрегат Безымянской ТЭЦ более года выдавал энергию без остановки и без профилактического ремонта, причем его не выключали даже после того, как на станции пустили дублирующие механизмы. Перерыв в работе котла означал бы, что нужно затратить сутки на его остывание, а затем – еще несколько часов на выгрузку из него шлака. В условиях военного времени это было непозволительной роскошью. Лишь позже, когда остановка агрегатов стала острой необходимостью, по согласованию с обкомом ВКП (б) на все названные операции разрешалось отвести не более 5-6 ч.

В ноябре 1941 г. от Безымянской ТЭЦ были проложены первые тепловые сети диаметром 500-600 мм и длиной около 10 км. Пар сначала подали на предприятия, и лишь затем – в отопительную систему прилегающего к ним нового жилого поселка.

Здесь нужно отметить, что строительство самой первой теплотрассы в городе протяженностью 2 км, питавшейся от Самарской ГРЭС, началось еще в 1932 г., и через год оно было завершено. Тогда в качестве материала для труб использовалось дерево. Тепло получили 15 зданий, среди которых были корпуса Жигулевского пивзавода, дом облисполкома на улице Вилоновской, Дом Красной Армии и баня №2. Но это был, так сказать, лишь пробный камень в деле строительства самарских тепловых трубопроводов.

По-настоящему же масштабное развитие центрального теплоснабжения в Куйбышеве началось лишь в 1941 г., когда в город был эвакуирован целый ряд оборонных предприятий с запада страны. Источниками тепловой энергии, передающейся по трубам с горячей водой, были Безымянская ТЭЦ и Куйбышевская ГРЭС. В конце 1942 г. в областном центре образовалось управление тепловых сетей (УТС), в структуре которого выделили два сетевых района – Куйбышевский, с питанием от ГРЭС, и Безымянский, со снабжением теплом и паром от новой теплоэлектроцентрали.

Уже через месяц после пуска первый турбоагрегат Безымянской ТЭЦ достиг установленной мощности. В январе 1942 г. на станции заработала вторая турбина, а в декабре того же года – третий силовой агрегат. К этому моменту электрическая мощность Безымянской ТЭЦ достигла 75 тыс. кВт, в то время как вся Куйбышевская энергосистема тогда вырабатывала 136 тыс. кВт.

Несколько раз в течение военных лет на Безымянской ТЭЦ происходили технологические сбои, а зимой 1943 г. здесь случилась серьезная авария. В одном из котлов образовался свищ, из которого началась утечка воды, а из-за этого могли выйти из строя соседние агрегаты и трубы. Морозным вечером котел пришлось полностью остановить. Когда температура в нем снизилась до 80°С, главный инженер станции Михаил Матюнин (впоследствии – главный инженер «Куйбышевэнерго») и мастер участка Владимир Гайдуков, надев на себя телогрейки, валенки и огнеупорные костюмы, отправились в пылающее пекло. Смельчаков пытались остановить, но для них судьба производства, работавшего на оборону страны, была дороже собственной жизни.

Матюнин и Гайдуков бросали впереди себя доски на раскаленную золу, и затем шли по ним, осматривая трубы. А их в котле – десятки. Попробуй в этом лабиринте найти, в какой образовалась протечка! Дышать было почти нечем, но инженерам повезло: место аварии они обнаружили довольно быстро. Пошли обратно, но тут загорелись доски под их ногами. По пылающему шлаку обоим все

же удалось выбраться наружу живыми и относительно невредимыми, и здесь их встречали как героев. Поврежденную трубу обрезали и перекрыли уже сверху, не влезая в котел. В половине пятого утра агрегат запустили снова, а в семь часов он уже был подключен к сети. Ни один потребитель электроэнергии даже не заметил, что всю ночь у станции была пониженная выработка.

Безымянская ТЭЦ в течение всех военных лет бесперебойно снабжала энергией комплекс оборонных заводов Куйбышева, десятки предприятий пищевой и легкой промышленности, давала тепло для тысяч квартир, больниц и школ. Не раз теплоэлектроцентраль завоевывала переходящее Красное знамя Государственного комитета обороны. К началу 1945 г. станция после ее расширения вырабатывала уже 516,7 млн кВт·ч электроэнергии. В апреле того же года Безымянская ТЭЦ была удостоена высшей награды страны – ордена Ленина. Тогда же орденами и медалями были награждены свыше 30 лучших работников станции и системы «Куйбышевэнерго».

Официальное расформирование Управления Особого строительства НКВД СССР и Безымянского лагеря произошло в феврале 1946 г., когда в Куйбышевской области в основном было завершено строительство всех ранее запланированных промышленных предприятий. При этом строительство нефтепроводов, подающих сырье на Крекинг-завод, было передано вновь образовавшемуся Нефтестройлагу НКВД СССР.

Вскоре после большого перерыва в гидростроительстве, вызванным войной, советское правительство решило вернуться к вопросу о сооружении Куйбышевской ГЭС на Волге. При этом были учтены прежние ошибки в организации финансирования строительства и в его снабжении. Как известно, о возрождении прежних грандиозных планов, но уже на новом, более высоком уровне, советские граждане узнали из постановления Совета Министров СССР от 20 августа 1950 г., в котором говорилось о начале строительства Куйбышевской гидроэлектростанции мощностью 2 млн кВт.

Местом дислокации новой ГЭС был определен створ между только что образованным на правобережье Волги рабочим поселком Жигулевск (бывшее село Отважное) и левобережным селом Кунеевка (рис. П. 4.24).

Рис. П. 4.24. Место дислокации новой Куйбышевской ГЭС

В настоящее время этого села уже не существует: его затопило еще в 50-е годы при подъеме уровня водохранилища. А примерно на том месте, где оно когда-то стояло, ныне частично располагаются шлюзовой канал и прочие шлюзовые сооружения ГЭС, а частично – кварталы Комсомольского района Тольятти.

Возведение гигантского по тем временам гидроузла было поручено специально созданной организации – Куйбышевгидрострою. При этом, согласно существовавшей тогда практике, для обеспечения громадных стройплощадок рабочими руками ему дополнительным закрытым постановлением Совета Министров СССР был придан вновь образованный Кунеевский исправительно-трудовой лагерь (ведомственный почтовый шифр ДЗ-15).

Местом дислокации этого секретного объекта тогда же был определен город Ставрополь. Характерно, что и Куйбышевгидрострой, и Кунеевлаг в то время подчинялись МВД СССР, а вовсе не какому-нибудь строительному министерству.

Первым начальником Куйбышевгидростроя тогда же был назначен генерал-майор инженерно-технической службы Иван Васильевич Комзин (1905-1983 гг.) (рис. П. 4.25), который одновременно стал и начальником Кунеевского ИТЛ. В конце 20-х годов он окончил высшее инженерно-строительное училище в Москве, после чего участвовал в возведении легендарной Магнитки и ряда других уральских заводов. В годы Великой Отечественной войны он занимался строительством оборонительных сооружений на самых ответственных направлениях удара фашистских войск, а после освобождения советской земли руководил восстановлением портовых сооружений сначала в Севастополе, а затем в Таллине и других городах Прибалтики. После этого Комзин и был назначен начальником строительства Куйбышевской ГЭС, по окончании которого он был удостоен звания Героя Социалистического Труда. Затем при личном одобрении Первого секретаря ЦК КПСС Никиты Сергеевича Хрущева он был направлен в Египет для руководства возведе-

нием Асуанской гидроэлектростанции, которую в то время называли не иначе как «символ советско-египетской дружбы». По окончании работы на берегах Нила Иван Васильевич еще некоторое время находился в штате Минэнерго СССР и одновременно вел преподавательскую работу в Московском инженерно-строительном институте. После кончины И. В. Комзина в 1983 г. его именем была названа одна из улиц Тольятти.

Но вернемся к началу 50-х гг., когда в районе Ставрополя разворачивалась грандиозная панорама «стройки века». Уже в течение августа-сентября 1950 г. здесь были сформированы все основные структуры и подразделения Куйбышевгидростроя. В течение августа – декабря 1950 г. в левобережье Волги выросли два барачных поселка заключенных. Тогда же при их участии в декабре 1950 г. на строительстве ГЭС началась отсыпка камня в банкет.

Рис. П. 4.25. Первый начальник Куйбышевгидростроя генерал-майор инженерно-технической службы Иван Васильевич Комзин (1905-1983 гг.)

Так называли трехсотметровую каменную дамбу в русле Волги у правого берега. При этом отсыпка велась со льда Волги, через несколько прорубей, что, конечно же, было связано с немалым риском. А вот 18 февраля 1951 г. в хронике строительства ГЭС считается особой датой: в этот день ковш экскаватора вынул первый кубометр грунта для котлована на месте будущего здания гидроэлектростанции. Поэтому считается, что именно с указанной даты на строительстве завершились все подготовительные работы, и «великая стройка коммунизма» вступила в свой главный этап.

В течение 1950-1953 гг. заключенные в разных уголках Куйбышевской области построили сотни километров магистральных авто-

дорог. Специально для этих целей приказом МВД СССР было создано Управление ИТЛ Гушосдора МВД СССР. Это управление в 1951 г. начало строительство постоянного железобетонного моста через Самару в областном центре. Все работы на этом объекте завершились 15 сентября 1954 г., когда по нему было официально открыто движение. А немного раньше, в течение зимы 1950-1951 гг., заключенные «автодорожных» лагерей Гушосдора приступили к сооружению моста через реку Сок неподалеку от той точки, где она впадает в Волгу. Строительство самого автомобильного шоссе «Куйбышев – Ставрополь» началось несколькими месяцами позже.

Тогда же были достроены и железнодорожные линии «Сызрань-Жигулевск» и «Куйбышев-Ставрополь».

Уже в сентябре 1950 г. отряды заключенных под руководством технических специалистов начали необходимые ремонтные работы на 50-километровом участке рельсового пути между Сызранью и Переволоками, а затем основным занятием лагерников стала прокладка новой железнодорожной линии на отрезке от Переволок до Жигулевска. К середине июля 1951 г. сооружение всего 40-километрового участка пути было завершено, а 24 августа того же года состоялось официальное открытие регулярного движения по железной дороге «Сызрань – Жигулевск». Одновременно велось и строительство левобережной железнодорожной линии на отрезке от поселка Горного (ныне он входит в Красноглинский район Самары) до Ставрополя. Этот 90-километровой отрезок рельсового пути был полностью готов к середине осени 1951 г., а 30 ноября официально открылось движение по левобережной железнодорожной линии «Куйбышев – Жигулевское море».

Одновременно другие отряды заключенных сразу с двух сторон тянули к району гидростроительства высоковольтные линии электропередач, поскольку собственных мощных источников энергии в Ставрополе и Жигулевске в то время еще не было. В сентябре 1951 г. было закончено строительство линии электропередач «Куйбышев – поселок Комсомольск», благодаря чему на стройплощадки началась подача тока с Безымянской ТЭЦ и Куйбышевской ГРЭС, а 21 декабря вступила в строй действующих линия электропередач «Сызрань – Жигулевск» протяженностью 96,7 км, по которой Куйбышевгидрострой стал снабжаться еще и энергией от Сызранской ТЭЦ.

Краткая хроника дальнейших наиболее важных событий на строительстве ГЭС в 1951-1953 гг. тех лет такова. В июле 1951 г. в районе села Зеленовка на левом берегу Волги началось строительство нижних судоходных шлюзов гидроузла. Неподалеку от этого

места 16 ноября того же года заключенные лаготделений №3 и №4 приступили к возведению левобережного большого бетонного завода. В марте 1952 г. началось сооружение 8-километровой перемычки водосливной плотины гидроэлектростанции. Строительство верхних судоходных шлюзов Куйбышевской ГЭС было начато 16 июня того же года, а 19 декабря в Жигулевске госкомиссия приняла в эксплуатацию здания больничного городка Куйбышевгидростроя. В эти же декабрьские дни началось бетонирование днища нижних шлюзов Куйбышевской ГЭС. По программе культурного строительства 15 февраля 1953 г. в поселке Солнечная Поляна близ Жигулевска начал работу новый клуб нефтяников. В апреле того же года был сдан в эксплуатацию Жигулевский камнещебеночный завод, а уже 30 июля в фундамент здания ГЭС легли первые кубометры бетона местного производства.

Крупнейшим объектом на первом этапе этой грандиозной стройки считался котлован ГЭС, куда в первой половине 1953 г. круглосуточно, в три смены, выходило от 12 до 15 тыс. заключенных, а также до 2-3 тыс. вольнонаемных рабочих и технических специалистов. В это время труд заключенных, как и в середине 30-х годов, снова стал стимулироваться прогрессивной системой зачета рабочих дней. Это означало, что при выполнении нормы на 121% и выше один день ударной работы такому передовику засчитывался за три дня его заключения в лагере. В результате на строительстве росла производительность труда, а на большинстве участков выполнялся производственный план.

К концу 1954 г. на котловане работало не более 6 тысяч заключенных и примерно столько же вольнонаемных строителей, в основном бывших лагерников, которые еще буквально за 2-3 месяца до этого сами жили в бараках за колючей проволокой. А еще одним важнейшим объектом Куйбышевгидростроя на первом этапе была водосливная плотина, на которой в течение 1954 г. ежедневно работало от 9 до 11 тыс. лагерников и около 2,5 тыс. вольнонаемных рабочих и служащих.

Наибольшее число заключенных работало на подготовке опалубки, на армировании и укладке бетона, и особенно – на его уплотнении с помощью ручных вибраторов. О масштабах и темпах работы строителей ГЭС, из которых еще в середине 1953 г. примерно 75% составляли заключенные, говорят следующие цифры. В течение 1950-1955 гг. здесь было вынуто из котлованов и карьеров, а затем вывезено в другое место 190 млн $м^3$ грунта и горных пород. Это вдвое превышает объем земли, перемещенной при строитель-

стве Суэцкого канала. За то же время в тело плотины и прочих гидросооружений было уложено 7,4 млн м^3 бетона и железобетона, причем в самый разгар строительства здесь в течение суток иногда укладывалось до 20 тыс. м^3 материала, что в то время было мировым рекордом (рис. П. 4.26).

Рис. П. 4.26. Строительство Куйбышевской ГЭС

В итоге к октябрю 1955 г. на строительстве была намыта земляная плотина длиной 2,8 км, шириной у основания 750 м и высотой 52 м. Здесь же выросла водосливная плотина длиной 981 м и шириной у основания 300 м. А построенное вскоре здание ГЭС имело длину по фронту 700 м, ширину 100 м, высоту 85 м. Плюс к тому это здание уходит в землю на глубину 45 м, а его фундамент имеет по 350 м в длину и ширину.

Если 16 ноября 1953 г. на Куйбышевском гидроузле были уложены первые кубометры бетона в тело водосливной плотины, то уже в июле 1954 г. строители завершили бетонирование всей фундаментной плиты здания ГЭС. После этого стройка вступила в очень ответственный период – создание сплошного тела плотины, полностью перегораживающего русло реки. Началом этих работ считается 15 августа 1955 г., когда земснаряды приступили к перекрытию левой протоки Волги. Намывка земляной дамбы завершилась через два месяца, и уже 24 октября того же года волжскую воду пустили в котлован ГЭС. Благодаря этому стало возможным перейти к одному из главных этапов строительства – перекрытию

правобережного прорана Волги. Важнейшая операция началась 30 октября 1955 г., а завершилась 31 октября, всего через 19 ч 35 мин после сброса в воду первого бетонного куба, хотя по существовавшим тогда нормативам на перекрытие такой широкой реки, как Волга, отводилось не менее 48 ч (рис. П. 4.27).

Рис. П. 4.27. Перекрытие правобережного прорана Волги

Полностью котлован водосливной плотины был затоплен только в апреле 1957 г., и лишь 10 июня 1957 г. уровень Куйбышевского водохранилища наконец-то достиг проектной отметки. К этому моменту в его ложе уже было накоплено около 58 миллиардов кубометров воды, а площадь водохранилища достигла 5900 км^2. Его длина составила 510 км, а наибольшая ширина – 27 км. В то время оно было крупнейшим в мире искусственным водным объектом.

До этого в ноябре-декабре 1954 г. строители производили монтаж рабочих ворот на нижних шлюзах, что позволило 30 июля 1955 г. пропустить через них первый пароход. На другой день состоялось официальное открытие временной судоходной трассы через плотину ГЭС (рис. П. 4.28).

Полностью же эта «водная лестница» была готова к 5 мая 1956 г., когда через верхние шлюзы прошел первый пароход. Одновременно со строительством плотины в уже построенном здании

ГЭС шли монтаж и наладка энергетических гидроагрегатов, призванных превращать энергию падения волжской воды в удобную для использования электрическую энергию.

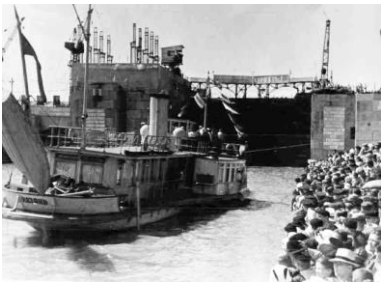


Рис. П. 4.28. Временная судоходная трасса через плотину ГЭС

Уже 29 декабря 1955 г. первый агрегат Куйбышевской ГЭС был введен в эксплуатацию. Пятый гидроагрегат Куйбышевской ГЭС заработал 8 сентября 1956 г., двенадцатый – 28 декабря того же года, а последний, двадцатый по счету – 14 октября 1957 г. Считается, что в этот день завершился основной этап сооружения Куйбышевской ГЭС. С указанного момента строители были заняты лишь исключительно устранением многочисленных недоделок на гидроэлектростанции, а также возведением административных, коммунальных, социальных и прочих объектов, входящих в инфраструктуру как самого гидроузла, так и городов Ставрополя и Жигулевска.

В течение 1956-1958 гг., на завершающем этапе гидростроительства, в район Куйбышевской ГЭС один за другим стали наведываться высокопоставленные работники ЦК КПСС и Совета Министров СССР. Первым из них был Вячеслав Михайлович Молотов (рис. П. 4.29), который осенью 1956 г. прибыл в Ставрополь в ранге министра иностранных дел СССР. Ветеранам гидростроительства его визит в первую очередь запомнился тем, что министр прилетел на Куйбышевский гидроузел по пути из Америки, после заседания Генеральной ассамблеи ООН. В клубе гидростроителей Молотов выступил перед партийно-хозяйственным активом Куйбышевской области, и в первую очередь рассказал о международном положении.

Затем министр в сопровождении руководителя строительства И. В. Комзина спустился в котлован водосливной плотины, который в то время готовили к затоплению. Узнав о приезде на ГЭС самого Молотова, который при Сталине считался вторым лицом в государстве, у котлована собрались тысячи рабочих и служащих, а также

множество заключенных, которые встретили приехавших аплодисментами и общей овацией. При этом очевидцы события сообщают, что телохранителей при министре практически не было: лишь позади него следовали два человека в штатском. Роль главного охранника Молотова взял на себя сам Комзин, который, по воспоминаниям ветеранов Куйбышевгидростроя, раздвигал толпу своими огромными, поистине богатырскими руками и все время повторял: «Дайте старичку пройти!».

Рис. П. 4.29. Посещение В. М. Молотова Куйбышевской ГЭС

В общей сложности Молотов пробыл среди рабочих не менее получаса. Он вел себя очень просто: беседовал со всеми желающими, в том числе и с заключенными, отвечал на их вопросы о возможной амнистии, в доступной форме рассказывал о международной обстановке и остро клеймил «империалистов – поджигателей войны». Самое интересное, что никто из окружающих даже и не пытался задавать ему «неудобные» вопросы – например, о секретном докладе Хрущева на XX съезде, о культе личности Сталина, о причинах массовых репрессий, и так далее. Вскоре Молотов поблагодарил рабочих за общение с ним, в сопровождении Комзина прошел сквозь толпу к своей машине и уехал в Куйбышев.

Затем на великой стройке побывал секретарь ЦК КПСС А. А. Андреев, отвечавший в партии за сферу сельского хозяйства. В середине лета 1957 г. он с супругой во время отдыха плавал на теплоходе вниз по Волге до Астрахани, и по пути на несколько часов заглянул на Куйбышевскую ГЭС. Однако с гидростроителями Андреев не общался – он поехал в один из пригородных колхозов и там беседовал с крестьянами.

Через месяц после Андреева гостем гидростроителей был молодой председатель Совета Министров РСФСР Д. С. Полянский. Он

тоже не снизошел до разговора с рабочими, а лишь вместе с секретарями Ставропольского горкома КПСС полюбовался панорамой стройки с верхней смотровой площадки здания ГЭС. Ветеранам же запомнился также приезд в Ставрополь заместителя председателя Совета Министров СССР М. Г. Первухина, который, подобно Молотову, тоже спускался в котлован и напрямую беседовал с рабочими и заключенными.

А в середине октября 1957 г. на строительство ГЭС приехал секретарь ЦК КПСС Леонид Ильич Брежнев (рис. П. 4.30), который выяснял возможность официальной сдачи ГЭС в эксплуатацию к 40-летию Великого Октября. Однако у эксплуатационников было много претензий к строителям по поводу недоделок, а также благоустройству гидроузла и жилых кварталов. В результате было решено перенести открытие ГЭС на август 1958 г.

Рис. П. 4.30. Посещение Л. И. Брежневым Куйбышевской ГЭС

Самым высокопоставленным гостем на Куйбышевской ГЭС был Первый секретарь ЦК КПСС Никита Сергеевич Хрущев, который 9 августа 1958 г. на специальном поезде прибыл в Жигулевск на церемонию торжественного открытия крупнейшей в мире гидроэлектростанции (рис. П. 4.31).

Руководителя партии и правительства сопровождали секретари ЦК КПСС Л. И. Брежнев, М. А. Суслов, Б. А. Аристов, Д. С. Полянский, министр электростанций СССР А. С. Павленко и множество других лиц пониже рангом. Конечно же, в областном центре к правительственной делегации присоединились первый секретарь Куйбышевского обкома КПСС М. Т. Ефремов и председатель Куйбышевского облисполкома А. С. Мурысев.

Рис. П. 4.31. Посещение Н. С. Хрущевым Куйбышевской ГЭС

Торжественный митинг по поводу окончания строительства ГЭС был назначен на 15 ч, а с утра Хрущев и сопровождающие его лица осматривали сооружения гидроэлектростанции, который сначала наблюдал за шлюзованием судов, а потом специально для него на водосливной плотине 250-тонным краном подняли несколько затворов, чтобы увидеть сброс воды с 25-метровой высоты. После этого все прошли в машинный зал здания ГЭС, где пояснения лидеру партии давали директор гидроэлектростанции А. К. Рябошапко и главный инженер М. А. Саркисов. Здесь Хрущева попросили перерезать алую ленточку, что знаменовало собой запуск последнего агрегата станции. После этого Первый секретарь ЦК КПСС лично повернул рубильник. Под гром оваций многотонная махина плавно начала вращаться, а уже через несколько минут заработала на полную мощность.

К трем часам дня вокруг здания ГЭС собрались десятки тысяч людей – участники строительства, жители Ставрополя и Жигулевска, советские и иностранные журналисты, простые рабочие и служащие, а также много бесконвойных заключенных. Все ждали от Н. С. Хрущева торжественных, проникновенных слов, или хотя бы выражения похвалы в адрес участников реализации грандиозного проекта, однако его речь многих удивила и даже вызвала недоумение. Выступление Первого секретаря ЦК КПСС с самого начала выглядело очень сухим, без какого-либо намека на благодарность людям в связи с окончанием строительства. А в конце своей речи Никита Сергеевич и вовсе заявил следующее: возведение ГЭС для государства совершенно невыгодно, поскольку это очень дорогостоящее занятие. По его мнению, нам лучше строить тепловые электростанции, которые достаются стране не такой дорогой ценой. Пусть

эти станции будут меньше по размерам и мощности, чем Куйбышевская ГЭС, зато на те же деньги их можно построить больше.

Слушатели были немало удивлены такой речью Первого секретаря ЦК КПСС и даже слегка разочарованы. Ведь до этого с самых высоких трибун им говорили, что энергия ГЭС – самая дешевая из всех. А тут из уст первого лица государства пришлось услышать совершенно обратное. Митинг закончился, правительственная делегация во главе с Хрущевым прошла к машинам и уехала на торжественный ужин.

В соответствии с Указом Президиума Верховного Совета СССР от 10 августа 1958 г. Куйбышевской ГЭС была переименована в Волжскую ГЭС, и одновременно ей присвоили имя В. И. Ленина. В соответствии с другими Указами более пяти тысяч участников гидростроительства удостоились государственных наград, в том числе двадцати пяти из них было присвоено звание Героя Социалистического Труда. Гораздо менее известно, что после торжественного открытия Куйбышевской ГЭС многие работники Кунеевского ИТЛ также получили ордена и медали. Кроме того, свыше сотни лагерников, наиболее отличившихся при строительстве, закрытым Указом Президиума Верховного Совета СССР «О льготах заключенным, отличившимся на строительстве Куйбышевской ГЭС» от 10 августа 1958 г. были освобождены от дальнейшего отбытия наказания, а нескольким сотням других заключенных сократили сроки их пребывания в лагере (рис. П. 4.32).

Проблема газификации промышленных предприятий и социальной сферы Куйбышева остро встала еще в самом начале Великой Отечественной войны, когда из-за оккупации фашистами Донбасса на Куйбышевскую ГРЭС и БТЭЦ прекратилась поставка донецкого угля марки АШ. Хотя с ноября 1941 г. обе станции перешли на снабжение углем, добываемым в районе Караганды, уже вскоре выяснилось, что это топливо не соответствует технологическим требованиям, предъявляемым к нему ТЭЦ. В частности, в казахстанском угле было слишком много пустой породы, и к тому же он поступал к котельным в открытых вагонах, из-за чего оказывался смерзшимся и перемешанным со снегом. Поэтому руководство Особстроя вынуждено было держать на разгрузке угля большие бригады заключенных, которые кирками и ломами разбивали смерзшуюся массу.

Рис. П. 4.32. Куйбышевская ГЭС

В конце 1941 г. эти и другие трудности заставили руководство области и авиационной отрасли, к которой относились наиболее важные куйбышевские заводы, искать альтернативные источники энергоснабжения промышленных предприятий. Выход был найден в переводе Куйбышевской ГРЭС и Безымянской ТЭЦ на сжигание природного газа, значительные запасы которого к тому времени были разведаны на границе Куйбышевской и Оренбургской областей. В связи с этим 20 мая 1942 г. в Куйбышеве было создано управление строительством газопровода Бугуруслан-Похвистнево-Куйбышев, а 15 сентября 1943 г. уже был введен в эксплуатацию его основной участок – 160-километровая трасса между Куйбышевым и Похвистневом. К концу декабря к газопроводу подключили также и отрезок Бугуруслан-Похвистнево, после чего общая длина газопровода достигла 180 километров. В то время эта газовая магистраль была крупнейшей в СССР.

Параллельно с подключением Куйбышевской ГРЭС и Безымянской ТЭЦ к этому газопроводу шло строительство еще одного его участка, протянувшегося до Красноглинского района, где также находилось много оборонных предприятий. Уже 31 декабря 1943 г. вступил в строй участок газовой магистрали от Безымянки до Мехзавода длиной 5,6 км. В общей сложности с сентября 1943 г. по июль 1945 г. энергетические предприятия Куйбышева получили по новому газопроводу 260 млрд $м^3$ природного газа, что оказалось равноценно 370 тыс. т каменного угля. Подсчитано, что благодаря этой газовой магистрали железнодорожники в те же годы высвободили от перевозки угля 20 тыс. вагонов, которые в трудное военное время были остро необходимы стране для перевозки оборонных грузов. Однако во второй половине 1945 г. Куйбышевская ГРЭС и Безымянская ТЭЦ с газового топлива перешли на сжигание сырой

нефти, которая к тому времени стала сюда поступать по нефтепроводу из района Зольного.

Еще в годы войны, после того, как природный газ подали в котлы энергетических предприятий, началась также и массовая газификация жилых домов и социальных объектов Куйбышева и области. К 1950 г. протяженность внутригородских газовых сетей в области превысила 200 км. В том году в области насчитывалось около 10 тыс. газифицированных квартир. Их число стало расти ускоренными темпами после того, как 27 декабря 1957 г. был сдан в эксплуатацию газопровод Муханово-Куйбышев протяженностью 120 км.

Что касается подключения к газовым сетям сел и деревень Куйбышевской области, то в 50-е – 60-е годы таких работ у нас практически не велось, и лишь в 1970 г. в сельских районах началась массовое строительство газопроводов. Первым селом, куда по новым сетям пришло «голубое топливо», в нашей области стали Белозерки Волжского района, где 27 марта 1971 г. зажглись газовые плиты сразу в 200 квартирах, а 17 февраля 1974 г. с целью дальнейшей газификации сельского и городского жилья вступил в строй также газопровод Оренбург-Куйбышев.

Еще в начале 40-х годов Куйбышевская область стала быстрыми темпами превращаться в один из наиболее мощных индустриальных центров СССР, и в связи с этим ускоренными темпами развивалось энергетическое строительство.

Сразу же после Победы продолжилось возведение Сызранской ТЭЦ, которое в соответствии с решением Совнаркома было начато еще в марте 1939 г., но из-за начала войны его пришлось законсервировать. Первая очередь этой теплоэлектроцентрали вступила в строй действующих 31 декабря 1947 г., когда здесь приняли в эксплуатацию один котел и один турбоагрегат. Тем самым Сызранская ТЭЦ стала первой в Европе станцией, работающей на горючем сланце. Затем здесь были введены в действие и другие котлы. В дальнейшем эта ТЭЦ, кроме сланца, в качестве топлива стала использовать также мазут и природный газ (рис. П. 4.33).

Рис. П. 4.33. Сызранская ТЭЦ

Следующим энергопредприятием нашей области стала Новокуйбышевской ТЭЦ, предназначенная для обеспечения энергией строящегося Новокуйбышевского НПЗ, первую очередь которой открыли 1 октября 1951 г. (рис. П. 4.34).

Рис. П. 4.34. Новокуйбышевская ТЭЦ

При этом сам нефтеперерабатывающий завод приняли в эксплуатацию только через месяц после пуска ТЭЦ. Строительство новых тепловых мощностей в Новокуйбышевске было вплотную связано с ростом промышленного производства в этом городе. В начале 60-х годов здесь, как известно, вошел в строй действующих завод синтетического спирта, а затем начал расширяться и реконструироваться нефтеперерабатывающий завод. В 1964 г. из его цехов выделился ряд производств, на основе которых тогда же было создано производственное объединение «Новокуйбышевский нефтехимкомбинат». К тому времени в городе уже завершилось строительство ТЭЦ-2 (рис. П. 4.35).

Рис. П. 4.35. Новокуйбышевская ТЭЦ-2

В связи с огромной потребностью в строительных материалах в самом начале 50-х годах в составе Куйбышевгидростроя заработали несколько камнещебеночных заводов общей производительностью 2 млн м^3 продукции. Кроме Куйбышевской ГЭС, потребителями этих стройматериалов были также и прочие строящиеся объекты энергетики. Для тех же целей в 1955 г. в Красноглинском районе Куйбышева был введен в эксплуатацию дробильно-сортировочный завод мощностью 800 м^3 продукции в смену. После ввода в действие первых агрегатов Куйбышевской ГЭС в 1955 г. началось строительство отходящих от нее высоковольтных линий электропередачи, а в 1958 г. вошла в строй действующих ЛЭП-400 «Куйбышев-Москва».

К этому времени уже были запущены агрегаты второй очереди на Сызранской ТЭЦ и на ТЭЦ-2 в Новокуйбышевске. Ввод в эксплуатацию новых мощностей позволил увеличить производство электроэнергии в нашей области с 1,26 млн кВт·ч в 1950 г. до 12,2 млрд кВт·ч в 1958 г.

В связи с намеченным еще в начале 50-х годов сооружением крупных химических и нефтехимических предприятий в районе Ставрополя и Жигулевска здесь в это время параллельно с возведением Куйбышевской ГЭС началось также и строительство теплоэлектроцентралей. Первая очередь Ставропольской (в дальнейшем – Тольяттинской) ТЭЦ была сдана в эксплуатацию 28 сентября 1960 г., когда здесь заработал котел мощностью 420 т пара в час (рис. П. 4.36). В том же году, 31 декабря, дал промышленный ток и ее первый электрогенератор.

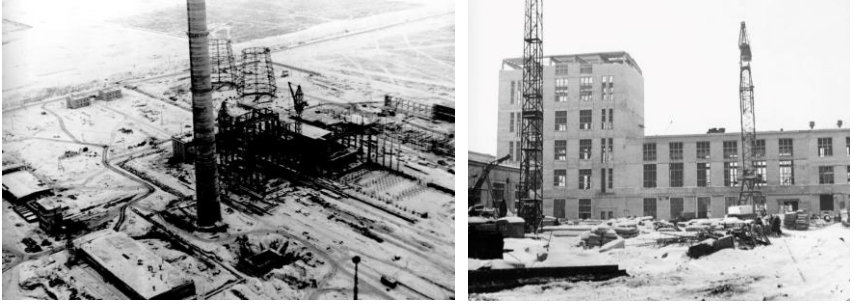


Рис. П. 4.36. Строительство Ставропольской (Тольяттинской) ТЭЦ

Последующее развитие энергокомплекса в этом городе происходило уже после переименования Ставрополя в Тольятти, когда советским правительством было принято решение о строительстве крупнейшего в СССР завода для производства малолитражных легковых автомобилей. Как известно, в апреле 1970 г. с главного конвейера АвтоВАЗа сошли первые «Жигули».

Еще на первом этапе строительства волжского автогиганта здесь же началось возведение ТЭЦ АвтоВАЗа, которая в ноябре 1967 г. уже начала отпускать потребителям тепловую энергию, а в декабре 1969 г. – также и электричество. Вскоре после начала производства малолитражек на ТЭЦ АвтоВАЗа началось строительство ее второй очереди. В период с 1975 по 1979 гг. общая электрическая мощность ВАЗовской теплоэлектроцентрали превысила 1100 МВт (рис. П. 4.37).

В 50-х гг. в Куйбышевской области полным ходом продолжалась электрификация сельских районов. Еще с конца 20-х годов вместе со строительством совхозов и машинно-транспортных станций (МТС) при них начали создаваться электростанции. Всего с 1930 по 1940 гг. в области было построено 99 сельских электростанций общей мощностью 1559 кВт. Первым сельским энергообъектом, сданным в эксплуатацию после окончания войны, стала электростанция в селе Домашкины Вершины Дубово-Уметского района, пуск которой состоялся 26 января 1947 г. В 1955 г. была также построена гидроэлектростанция в Исаклинском районе мощностью 125 кВт и тепловая электростанция в Ново-Буянском районе мощностью 57 кВт. В 1958 г. вошли в строй Клявлинская электростанция на 50 кВт и Богатовская – на 290 кВт.

Рис. П. 4.37. ТЭЦ АвтоВАЗа

К 1964 г. к государственным электросетям в Куйбышевской области было подключено 252 колхоза из 361, 92 сельхозартели имели свои дизельные электростанции, а 17 хозяйств вообще не были электрифицированы. Из 69 совхозов лишь 19 хозяйств располагали маломощными дизельными электростанциями. В связи с этим в 1964 г. все проблемы по сельской электрификации в нашей области были переданы государственным энергосистемам. Куйбышевэнерго выполнил поставленную перед ним задачу к 1969 г., когда к госэнергосетям подключили последнее село из числа остающихся к тому времени без электричества. И если в 1958 г. сельские районы Куйбышевской области потребили 51,9 млн кВт·ч, то в 1969 г. – уже 192 млн, причем три четверти используемой селом энергии ему дали государственные электростанции.

Для лучшей координации действий отдельных подразделений энергетических систем как Средневолжского региона, так и всей Европейской части СССР в целом, приказом Главного энергетического управления при Госплане СССР от 30 марта 1960 г. было образовано Объединенное диспетчерское управление энергосистемами Средней Волги (ОДУ Средней Волги). Центральный пульт управления тогда же решено было разместить в Куйбышеве, на улице Полевой (рис. П. 4.38).

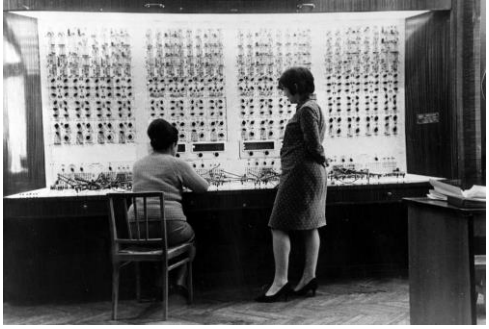


Рис. П. 4.38. Объединенное диспетчерское управление энергосистемами Средней Волги (ОДУ Средней Волги). Центральный пульт управления

В то время в сферу действия ОДУ Средней Волги входило шесть региональных энергосистем Поволжья. Ныне оно управляет режимами энергосистем девяти субъектов Российской Федерации: Пензенской, Самарской, Саратовской, Ульяновской и Нижегородской областей, а также Чувашской, Марийской, Мордовской и Татарской республик.

Что касается Куйбышева, то к началу 70-х годов его теплоснабжение, кроме Куйбышевской ГРЭС и Безымянской ТЭЦ, обеспечивали также построенные в 60-х годах Центральная отопительная котельная (ЦОК) на улице Блюхера и Привокзальная отопительная котельная (ПОК) на улице Пятигорской (рис. П. 4.39).

Кроме них, в городе тогда также существовало свыше 200 мелких котельных, работавших в основном на мазуте, что крайне неблагоприятно сказывалось на состоянии городской атмосферы.

Несмотря на все это, растущий город, число жителей которого в 1969 г. перевалило за миллион, испытывал острую потребность в новых энергетических источниках. Перед властями этот вопрос особенно остро встал во второй половине 60-х годов, когда в Куйбышеве развернулось массовое жилищное строительство. В это время на городской карте появились так называемые «спальные» микрорайоны – 7, 13, 14, 15-й и др., для отопления и горячего водоснабжения которых существовавших в то время мощностей не хватало. Выход был найден в строительстве Куйбышевской (после 1991 г. – Самарской) ТЭЦ на улице Алма-Атинской, первая очередь которой вошла в эксплуатацию 1 ноября 1972 г. (рис. П. 4.40).

Рис. П. 4.39. Центральная отопительная котельная (ЦОК) на улице Блюхера и привокзальная отопительная котельная (ПОК) на улице Пятигорской

Рис. П. 4.40. Куйбышевская (с 1991 г. – Самарская) ТЭЦ на улице Алма-Атинской

Однако уже вскоре выяснилось, что и этот объект не в состоянии полностью решить всех проблем энергоснабжения Куйбышева, поскольку в конце 70-х годов уже полным ходом шло строительство Приволжского микрорайона, где предполагалось поселить около 300 тыс. человек, что равнялось населению Сызрани. Энергетики тогда же подсчитали, что к началу 80-х годов городу будет недоставать примерно 650 гигакалорий тепла в час – почти столько же, сколько давал один котел Куйбышевской ТЭЦ.

Поэтому в 1982 г. Куйбышевским облисполкомом по согласованию с Госпланом и Минфином СССР было принято решение о строительстве еще одной ТЭЦ мощностью от 1435 до 1635 гигакалорий тепла в час с ее привязкой к окраинному поселку Козелки, который в то время еще только-только был включен в городскую черту. Возведение нового объекта предполагалось начать в 1985 г., однако из-за организационных и финансовых трудностей этого не случилось ни в следующем, ни в последующем году, а потом в

стране начались экономические трудности и перестроечные процессы, в результате чего строительство Козелковской ТЭЦ (Самарская ТЭЦ-2) оказалось замороженным.

В конце 80-х годов прошлого века на страницах самарской печати происходила бурная дискуссия между энергетиками и экологами о судьбе ТЭЦ-2. Как выяснилось, с природоохранной точки зрения проект новой теплоэлектроцентрали оказался далеко не безупречным, поскольку атмосферные выбросы с этого объекта обещали существенно перекрыть все допустимые санитарные нормы. В итоге экологи и энергетики довольно долго обменивались взаимными упреками через СМИ об отсутствии патриотизма и о нежелании обратить свое внимание на нужды простых людей, и продолжалось это до тех пор, пока дискуссия из словесной сферы не перешла в иное качество. После принятия решения Куйбышевского горисполкома №92 от 20 января 1989 г. группе институтов предписывалось начать проектирование ТЭЦ-2, но с обязательным учетом требований охраны окружающей среды. Еще через год с лишним, 16 мая 1990 г., Куйбышевский облисполком своим решением №132 подвел черту под проектными работами и распорядился начать строительство теплоэлектроцентрали в упоминавшимся выше поселке Козелки. Казалось бы, энергетики могли торжествовать победу. Однако природоохранная общественность тут же отыгралась. Только что появившийся к тому моменту в структуре комитета по охране окружающей среды экспертный отдел затребовал к себе все документы по планируемой ТЭЦ, после чего признал ее проект не соответствующим новому экологическому законодательству со всеми вытекающими отсюда последствиями. Проектировщики забрали документы на доработку.

Вот какие аргументы против строительства ТЭЦ-2 в поселке Козелки приводились в те годы сотрудниками отдела экологической экспертизы. По их словам, под площадку для ее сооружения должны попасть прекрасные сельскохозяйственные земли и значительное количество дачных участков, принадлежащих горожанам. Ущерб от потери этих земель и выращенной на них продукции в ценах 1990 г. приближался к 16 млн руб. в ценах того времени.

Кроме того, даже при условии применения новейших технологий по очистке атмосферных выбросов после начала работы ТЭЦ-2 уровень загрязнения воздуха в поселке Козелки и на прилегающих к нему участках Красноглинского, Кировского и Красноярского районов должен был существенно возрасти. На этой территории увеличивались концентрации двуокиси азота, окиси и двуокиси уг-

лерода, формальдегида, пыли и некоторых других вредных веществ. Не говоря уже о влиянии выбросов на здоровье населения, эти токсичные соединения пагубно сказались бы на красноглинских лесах, которые являются «зелеными легкими» Самары. Между тем в Козелках уже тогда имелись экологически неблагополучные промпредприятия, в частности, асфальтобетонные заводы.

Поскольку снабжение теплоэлектроцентрали водой планировалось осуществлять от НФС-2 в Студеном овраге, то прокладывать водовод от Волги к ТЭЦ-2 предполагалось через зеленый массив, расположенный в Кировском и Красноглинском районах города. При протяженности трассы водовода в 12 км и ширине коридора 30 м общая площадь вырубки составила бы 30 га леса. При этом сокращение зеленого покрова еще более усилило бы негативное влияние вредных выбросов на здоровье населения окрестных районов.

После этих возражений разработчикам понадобилось еще более года на то, чтобы привести проект ТЭЦ-2 в соответствие с требованиями экологической экспертизы. В результате 22 января 1992 г. незадолго до того вступивший в должность губернатор Самарской области К. А. Титов подписал постановление №13 «О строительстве Самарской ТЭЦ-2». Но все равно работы по возведению этого объекта в Козелках в итоге так и не были начаты – теперь уже не по экологическим, а чисто по экономическим мотивам, поскольку источников финансирования проекта в трудные 90-е годы администрация области изыскать так и не смогла. В результате указанное выше постановление №13 утратило свою силу 26 июня 2007 г. в соответствии с решением и.о. губернатора Самарской области В. П. Нефедова.

В настоящее время вопрос о строительстве в Самарской области новых источников тепловой и электрической энергии не ставится, поскольку, согласно официальным сводкам, уже нет того энергетического дефицита, который наблюдался в 80-е годы. Причиной тому стало не только падение уровня промышленного производства в области в кризисные 90-е годы, но и успешные меры по экономии энергии, которые за последнее время были внедрены государственными и частными пользователями.

Сейчас крупнейшей энергосбытовой компанией Самарской области является ОАО «Самараэнерго», которая обеспечивает около 78% общего электроснабжения региона. Ее основные потребители – это предприятия химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей, металлургической и машиностроительной промыш-

ленности, железнодорожного транспорта, нефтедобычи и производства строительных материалов. В состав ОАО «Самараэнерго» входят 18 отделений, расположенных в разных городах и населенных пунктах Самарской области. Всего на территории Самарской области компания имеет 540 тыс. точек поставки электроэнергии по договорам электроснабжения.

В сентябре 2005 г. решением внеочередного общего собрания акционеров ОАО «Самараэнерго» была проведены реорганизация компании путем выделения из нее ряда подразделений. Среди них – ОАО «Самарская Территориальная Генерирующая Компания» с передачей на его баланс акций ОАО «Волжская ТГК», ОАО «Самарская Распределительная Компания» с передачей на его баланс акций ОАО «Волжская МРК» и Открытого акционерного общества «Самарская Магистральная Компания» с передачей на его баланс имущества магистральных сетей ОАО «Самараэнерго».

С 2006 г. в Самарской области реализуется областная целевая программа развития малой энергетики. Программа предусматривает модернизацию энергетического хозяйства муниципальных образований Самарской области, в том числе строительство мини-ТЭЦ на базе газопоршневых и газотурбинных установок с комбинированной выработкой электрической и тепловой энергии. В рамках реализации программы ведется разработка четырех пилотных проектов по установке в городских округах Похвистнево, Чапаевск, Сызрань и селе Большая Черниговка мини-ТЭЦ суммарной мощностью 52 МВт.

Первого мая 2019 г. в поселке Маяк под Новокуйбышевском официально запустили первую в Самарской области солнечную электростанцию. Она расположилась на территории площадью 220 га, на которой установлено 265690 фотоэлектрических модуля. Эта станция является самой крупной в ПФО и одной из двух самых крупных солнечных электростанций в России, её мощность – 75 МВт. Проект реализован компанией «Солар Системс». Инвестиции составили около 10 млрд руб., а годовая выработка составит 92 млн кВт·ч. Мощности солнечной станции должно хватить для снабжения нескольких городов, таких как Новокуйбышевск.

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ОСВОЕНИЯ ИЗУЧЕННОГО МАТЕРИАЛА

Вопрос	Варианты ответов
1. Энергия – общая количественная мера различных форм движения…	а) материи б) сознания в) мироздания г) духовности
2. Инженеры широкого профиля в Древнем Риме именовались…	а) конструкторами б) архитекторами в) механиками г) композиционерами
3. Инженером называется человек, занимающийся…	а) постройкой какого-либо сооружения, устройства, моста, машины, приспособления и т.п., в качестве исполнителя б) постройкой какого-либо сооружения, устройства, моста, машины, приспособления и т.п., в качестве руководителя в) постройкой какого-либо сооружения, устройства, моста, машины, приспособления и т.п., в качестве организатора г) постройкой какого-либо сооружения, устройства, моста, машины, приспособления и т.п., в качестве советчика
4. Герон из Александрии еще в 70-е гг. н.э. придумал простейшую…	а) электрическую машину б) гидравлическую турбину в) паровую турбину г) механическую передачу
5. Первоначально в Древнем Риме мельницы использовались только как привод, вращающий…	а) мельничный камень для размалывания зерна б) шестерни ветряного двигателя в) лебедку речного парома г) шестерни водяного затвора
6. Первые ветряные двигатели появились в…	а) Индии б) Китае в) США г) Персии
7. Основоположником науки о магнетизме является англичанин…	а) У. Гилберт б) Дж. Прескотт в) Дж. Уатт г) М. Фарадей
8. Открытие, что Земля представляет собой гигантский магнит совершил…	а) Герон Александрийский б) Уильям Гилберт в) Роджер Бэкон

Вопрос	Варианты ответов
	г) Исаак Ньютон
9. Эксперимент с «Магдебургскими полушариями», наглядно показавший всем, что атмосферный воздух давит на поверхности тел, поставил…	а) Симон Стевин б) Бэкон Фрэнсис в) Галилео Галилей г) Отто фон Герике
10. Отто фон Герике (1602-1686 гг.) поставил и описал опыты, демонстрирующие силу…	а) атмосферного давления б) напора жидкости в) притяжения между заряженными телами г) сжатия пружины
11. Джамбаттиста делла Порта (1538-1616 гг.) занимался исследованием образования…	а) воды из пара б) пара из воды в) перегретого пара г) льда из воды
12. Дени Папен (1647-1714 гг.) построил первую технически реализованную…	а) машину с карбюраторным двигателем б) электрическую машину в) пароатмосферную машину г) машину с дизельным двигателем
13. Томас Севери (1650-1715 гг.) создал…	а) паровой насос б) паровой генератор в) тепловой насос г) паровой компрессор
14. В 1685 г. во Франции на реке Сене была сооружена водоподъемная установка для…	а) питания водой фонтанов б) подачи воды в городские бани в) подачи воды в Лувр г) подачи воды на Эйфелеву башню
15. В основу первой конструкции универсального парового двигателя были положены…	а) инженерные решения, основанные главным образом на на интуиции б) инженерные решения, основанные главным образом на теоретических расчетах в) инженерные решения, основанные главным образом на исследованиях и изучении г) инженерные решения, основанные главным образом техническом опыте
16. Машиной называется…	а) механическое устройство для перемещения б) механическое устройство для преобразования энергии, вещества, информации в) механическое устройство для подъема грузов г) механическое устройство для копания

Вопрос	Варианты ответов
17. Одна из первых в Европе Петербургская Академия наук основана по указу…	а) Петра I б) Петра III в) Николая II г) Александра I
18. Михаил Васильевич Ломоносов впервые дал верное объяснение…	а) энергии ветра б) энергии света в) теплоте г) энергии молнии
19. В 1748 г. М. В. Ломоносов экспериментально доказал и сформулировал…	а) закон теплового излучения б) закон сохранения энергии в) закон всемирного тяготения г) закон сохранения вещества
20. Российский физик Георг Вильгельм Рихман (1711-1753 гг.) создал в Петербурге лабораторию по исследованию…	а) тепловых явлений б) электрических явлений в) явлений тепло- и массопереноса г) световых явлений
21. В 1759 г. академик Российской Академии Ф. Эпинус (1724-1802 гг.) открыл и объяснил…	а) электрическую дедукцию б) электрическую индукцию в) электрическую проводимость г) электрическую поляризацию
22. В 1769 г. француз Жозеф Кюньо создал…	а) паровую повозку б) паровую лошадь в) паровой велосипед г) паровую лодку
23. В 1777 г. по проекту Смитона была сооружена трехкотельная установка для…	а) перекачивания воды между доками б) откачивания воды из морских доков в) накачивания воды в доки г) откачивания воды из тоннелей
24. Итальянец Луиджи Гальвани (1737-1798 гг.) открыл существование электрических токов внутри…	а) растительных организмов б) неживой материи в) живых существ г) толщи Земли
25. Первая фабрика, применившая паровой силовой привод к прядильным машинам, была основана…	а) в 1785 г. в Англии б) в 1850 г. в Англии в) в 1785 г. во Франции г) в 1900 г. в США
26. Первый важный закон электричества «сила взаимодействия двух точечных неподвижных заряженных тел в вакууме, прямо пропорциональна произведению их зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними» был установлен в 1785 г…	а) Г. Омом б) Ш. Кулоном в) Г. Эрстед г) Г. Герцем

Вопрос	Варианты ответов
27. Закон, имеющий очень большое значение: «сила тока на участке однородной электрической цепи прямо пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорциональна электрическому сопротивлению этого участка» открыл…	а) Ш. Кулон б) А. Вольта в) Г. Ом г) Г. Эрстед
28. В середине XVIII в. в Нидерландах в городе Лейдене была создана «лейденская банка» – прообраз электрического…	а) компенсатора б) транзистора в) резистора г) конденсатора
29. Первую электрическую батарею из последовательно соединенных гальванических элементов изобрел…	а) А. Вольта б) А. Ампер в) Г. Эрстед г) Ш. Кулон
30. В 1801 г. О. Эванс в США построил паросиловую установку с высоким…	а) давлением пара б) давлением воды в) напором воды г) разряжением
31. Метод суммирования работы двух цилиндров был впервые предложен и детально разработан…	а) И. Кулибиным б) Дж. Уаттом в) И. И. Ползуновым г) братьями Черепановыми
32. Электрический конденсатор изобрел…	а) Р. А. де Реомюр б) П. ван Мушенбрук в) Э. Торричелли г) Г. Галилей
33. Явление длительного электрического разряда в газе – электрическую дугу, открыл…	а) Д. Араго в 1821 г. б) Х. Дэви в 1810 г. в) Х. К. Эрстед в 1813 г. г) В. П. Петров в 1802 г.
34. Английский механик Баркер для вращения водяного колеса использовал…	а) давление столба воды б) противоток воды в) силу реакции потока воды г) завихрение воды
35. В 1807 г. американский изобретатель Р. Фултон первым в мире построил…	а) паровоз б) пароход в) паровой насос г) паропровод

Вопрос	Варианты ответов
36. В 1813 г. Эрстед публикует работу о влиянии…	а) электричества на магнит б) магнита на электричество в) электричества на биологические объекты г) электричества на диамагнетики
37. Первый паровозостроительный завод основал…	а) Д. Несмит б) Д. Стефенсон в) И. И. Ползунов г) Г. Модсли
38. Создание магнитного поля электрическим током установили экспериментально в 1820 г…	а) Н. А. Умов и Д. Г. Пойтинг б) Дж. Джоуль и Э. Х. Ленц в) Д. Менделеев и Б. Клайперон г) Ж. Б. Био и Ф. Савар
39. Немецкий профессор Т. И. Зеебек (1770-1831 гг.) обнаружил, что, если один спай двух разнородных металлов нагреть, а второй спай охладить, то возникает…	а) сила Кориолиса б) электродвижущая сила в) мускульная сила г) термоэлектродвижущая сила
40. В 1821 г. был изобретен один из источников электричества…	а) фотоэлемент б) пьезоэлемент в) термоэлемент г) электрохимический элемент
41. В России А. Т. Болотов (1738-1833 гг.) и И. П. Кулибин (1735-1818 гг.) создавали переносные емкостные электрические машины – «лейденские банки» для…	а) лечения больных б) запуска двигателей в) электризации почвы г) свечения ламп
42. Французский ученый Сади Карно в 1824 г. разработал основы теории…	а) водяных машин б) паровых машин в) электрических машин г) летательных аппаратов
43. Открытие электромагнетизма привело П. Л. Шиллинга в 1829 г. к изобретению…	а) электромагнитного двигателя б) электромагнитной почты в) электромагнитного усилителя г) электромагнитного телеграфа
44. Джеймс Уатт (1736-1819 гг.) построил паровую машину следующего действия…	а) одинарного б) двойного в) тройного г) бездействующую
45. В 1833 г. братья Черепановы построили первый в России…	а) паровоз б) пароход в) паровой насос г) паропровод

Вопрос	Варианты ответов
46. На основе какого уравнения Эйлер вывел уравнение работы гидравлической турбины…	а) уравнений сохранения количества движения б) уравнения неразрывности потоков в) уравнения сохранения энергии г) уравнения Бернулли
47. М. Фарадей в 1831 г. доказал существование неразрывной связи между электричеством и магнетизмом, что получило название…	а) магнитная индукция б) электроиндукция в) электромагнитная индукция г) взаимоиндукция
48. Существование электромагнитной индукции экспериментально доказал…	а) Д. Максвелл б) Г. Герц в) М. Фарадей г) Х. Эрстед
49. В своей лаборатории В. В. Петров для различных твердых и жидких материалов, составляя справочные таблицы их свойств, исследовал…	а) светопрозрачность б) электропроводность в) излучательную способность г) электроизоляционные свойства
50. Дж. К. Максвелл создал математический фундамент теории…	а) электрических взаимодействий б) электромагнитных взаимодействий в) магнитных взаимодействий г) гравитационного притяжения
51. В 1848 г. французский механик Г. Румкорф изобрел индукционную катушку, она явилась прообразом…	а) конденсатора б) генератора в) двигателя г) трансформатора
52. Гальванопластику и технологию ее применения изобрел…	а) Б. С. Якоби б) М. Фарадей в) Э. Х. Ленц г) В. В. Петров
53. Английский физик Д. Джоуль (1818-1889 гг.) и русский ученый Э. Х. Ленц (1804-1865 гг.) одновременно и независимо друг от друга вывели закон, определяющий тепловое действие…	а) перепада давления б) потока жидкости в) электрического тока г) трущихся механизмов
54. Один из основных законов электромеханики – принцип обратимости генераторного и двигательного режима электрических машин – открыл…	а) Э. Х. Ленц б) Б. С. Якоби в) М. Фарадей г) М. О. Доливо-Добровольский
55. Первый электромашинный генератор с самовозбуждением электромагнитов разработал и применил…	а) М. О. Доливо-Добровольский б) Э. Х. Ленц в) Б. С. Якоби г) Э. В. Сименс

Вопрос	Варианты ответов
56. Н. Н. Бенардос (1842-1905 гг.) применил электрическую дугу для…	а) освещения б) сварки в) расплавления металлов г) питания трансформатора Тесла
57. Н. Г. Славянов (1854-1897 гг.) как средство для создания электрической дуги, и как носитель металла для создания шва при сваривании листов или деталей использовал…	а) электрод б) заземление в) припой г) сварочную ванну
58. Французский математик и инженер Ж. В. Понселе предложил особый род	а) подливных колес б) наливных колес в) проливных колес г) приливных колес
59. А. Н. Лодыгин в 1872 г. предложил вместо угольных электродов использовать…	а) электроды платиновые б) электроды медные в) нить накаливания г) спираль
60. Французский механик Э. Ленуар (1822-1900 гг.) изобрел:	а) электрический двигатель б) двигатель внутреннего сгорания в) паровой двигатель г) дизельный двигатель
61. В 1875 г. П. Н. Яблочков создал:	а) вакуумную электролампу б) электрическую свечу в) светоизлучающий диод г) люминесцентную лампу
62. Первый практически пригодный электрический источник света – дуговую лампу без регулятора («электрическую свечу») – изобрел…	а) П. Н. Яблочков б) Т. А. Эдисон в) М. Фарадей г) Б. Франклин
63. Какая была фамилия у американского инженера, усовершенствовавшего лампу Лодыгина…	а) Н. Тесла б) М. Фарадей в) Б. Франклин г) Т. А. Эдисон
64. Электрическую лампу накаливания с винтовым патроном и цоколем сконструировал…	а) Б. Франклин б) М. Фарадей в) Т. А. Эдисон г) Н. Тесла
65. Первая блок-станция в Петербурге была сооружена в 1879 г. для освещения Литейного моста при участии…	а) В. Н. Чиколева б) А. Н. Лодыгина в) П. Н. Яблочкова г) А. Нобеля

Вопрос	Варианты ответов
66. Русский электротехник В. Н. Чиколев (1845-1898 гг.) объединил молодых русских электротехников вокруг журнала	а) «Теплоэнергетика» б) «Электротехника» в) «Светотехника» г) «Электричество»
67. В. Н. Чиколев (1845-1898 гг.) создал устройство для стабилизации горения электрической дуги, называемое…	а) регулятором б) аккумулятором в) стабилизатором г) преобразователем
68. В 1873 г. под руководством бельгийско-французского изобретателя З. Т. Грамма была сооружена первая…	а) теплостанция б) электростанция в) гидростанция г) ветростанция
69. В 1876 г. Н. Отто построил двигатель внутреннего сгорания	а) двухтактный б) однотактный в) безтактный г) четырехтактный
70. Первая электростанция постоянного тока была запущена в эксплуатацию в 1887 г. в…	а) Михайловском б) Детском селе в) Царском селе г) Выборге
71. Фотоэффект Г. Герц открыл в…	а) 1887 г. б) 1827 г. в) 1800 г. г) 1857 г.
72. Электромагнитные волны первым обнаружил в эксперименте…	а) Х. Лоренц б) Г. Кирхгоф в) Г. Герц г) М. Фарадей
73. В 80-х гг. XIX в. А. Г. Столетовым была обнаружена…	а) электропроводность б) петля гистерезиса в) теплопроводность г) петля Нестерова
74. Ч. Парсонс (1854-1931 гг.) изобрел…	а) одноступенчатую осевую реактивную турбину б) безступенчатую осевую реактивную турбину в) многоступенчатую осевую реактивную турбину г) радиальную реактивную турбину
75. Наибольшее распространение во второй половине XIX в. получили…	а) турбина Лаваля б) осевые реактивные турбины в) турбина Фурнейрона г) радиально-осевые реактивные турбины

Вопрос	Варианты ответов
76. К. Лаваль (1845-1913 гг.) разработал…	а) одноступенчатую активную турбину б) многоступенчатую осевую реактивную турбину в) безступенчатую осевую реактивную турбину г) радиальную реактивную турбину
77. Бензиновый двигатель для применения в автомобиле был запатентован в Германии в 1885 г…	а) Н. Отто б) Г. Даймлером в) Р. Дизелем г) Х. Гюйгенс
78. В России крупная электростанция однофазного переменного тока была построена в 1887 г. в Одессе для освещения:	а) водокачки б) синема в) театра г) вокзала
79. В. В. Петров в начале XIX в. создал предпосылки для создания…	а) аккумулятора б) компрессора в) теплового насоса г) вакуумной электролампы
80. В Петербурге в 1891 г. была установлена первая на электростанциях России…	а) турбина Лаваля б) гидротурбина в) винтовая турбина г) паровая турбина
81. Русский инженер Р. Э. Классон и француз М. Депре предложили первое…	а) защитное переключение б) защитное зануление в) защитное обнуление г) защитное заземление
82. В 1888 г. русский изобретатель М. О. Доливо-Добровольский создал:	а) трехфазную систему токов б) двухфазную систему токов в) пятифазную систему токов г) многофазную систему токов
83. Первым в России предприятием с трехфазным электроснабжением был Новороссийский элеватор (1893 г.), строителем электростанции был русский инженер…	а) А. И. Шпаковский б) Г. М. Кржижановский в) А. Н. Щенснович г) А. Б. Чубайс
84. Крупнейшей в России электростанцией однофазного тока была станция в Петербурге, построенная в 1894 г. инженером…	а) Г. М. Кржижановским б) А. И. Смирновым в) Н. В. Смирновым г) А. Б. Чубайсом
85. В 1897 г. русским изобретателем инженером П. Д. Кузьминским был сконструирован и испытан первый работающий…	а) двигатель постоянного тока б) двигатель внутреннего сгорания в) дизельный двигатель г) газотурбинный двигатель

Вопрос	Варианты ответов
86. Вывод о том, что электромагнитные волны, в том числе и световые, производят давление, подтвердил эксперимент, который провел…	а) П. Н. Лебедев б) М. Фарадей в) Х. Эрстед г) Д. Максвелл
87. В 1902 г. Р. Э. Классон и А. Б. Красин создают первую энергетическую систему на базе	а) трех электростанций б) двух электростанций в) четырех электростанций г) десяти электростанций
88. План ГОЭЛРО был принят в декабре:	а) 1920 г. б) 1921 г. в) 1919 г. г) 1970 г.
89. В 1922 году состоялся пуск электростанции «Уткина заводь» – первой электростанции в Петрограде, работающей на:	а) природном газе б) мазуте в) торфе г) энергии ветра
90. Год начала развития теплофикации в России:	а) 1935 б) 1930 в) 1924 г) 1940
91. Электронный вакуумный прибор для преобразования светового сигнала в электрический (иконоскоп), положивший начало истории современного телевидения, изобрел в…	а) 1943 г. Д. Моучли и П. Эккорт б) 1932 г. Д. Чедвик в) 1934 г. Э. Ферми г) 1931 г. В. К. Зворыкин
92. Энергия, получаемая после преобразования энергии на станциях, называется…	а) первичной б) вторичной в) нулевой г) бесконечной
93. Энергия, получаемая из ресурсов, непосредственно извлекаемых в природе, называется…	а) вторичной б) первичной в) нулевой г) бесконечной
94. На ТЭС в основном используются топлива…	а) внеземного происхождения б) неорганического происхождения в) органического происхождения г) любого происхождения
95. Когенерация – комбинированное производство…	а) тепловой и электрической энергии б) тепловой и гидравлической энергии в) электрической и гидравлической энергии г) энергии света и ветра

Вопрос	Варианты ответов
96. По прогнозам специалистов в течение ближайших лет основным видом топлива при выработке электроэнергии останется…	а) нефть б) уголь в) газ г) мазут
97. На Земле существуют постоянные воздушные течения к экватору со стороны северного и южного полушарий, которые образуют систему…	а) пассатов б) муссонов в) торнадо г) штилей
98. Столица Исландии – Рейкьявик – почти полностью обогревается…	а) энергией вулканов б) термальными водами в) течением Гольфстрим г) энергией тающих льдов
99. Сегодня основными энергоносителями – топливом для энергетической промышленности – во второй половине XX в. являются…	а) нефть и газ б) нефть и дрова в) нефть и уголь г) уголь и газ

КЛЮЧ К ТЕСТОВЫМ ЗАДАНИЯМ

Номер вопроса	Правильный ответ	Номер вопроса	Правильный ответ	Номер вопроса	Правильный ответ
1.	а	34.	в	67.	а
2.	б	35.	б	68.	б
3.	б	36.	а	69.	г
4.	в	37.	б	70.	в
5.	а	38.	г	71.	а
6.	г	39.	г	72.	в
7.	а	40.	в	73.	б
8.	б	41.	а	74.	в
9.	г	42.	б	75.	г
10.	а	43.	г	76.	а
11.	б	44.	б	77.	б
12.	в	45.	а	78.	в
13.	а	46.	а	79.	а
14.	а	47.	в	80.	г
15.	г	48.	в	81.	г
16.	б	49.	б	82.	а
17.	а	50.	б	83.	в
18.	в	51.	г	84.	в
19.	г	52.	а	85.	г
20.	б	53.	в	86.	а
21.	г	54.	а	87.	б
22.	а	55.	г	88.	а
23.	б	56.	б	89.	в
24.	в	57.	а	90.	в
25.	а	58.	а	91.	г
26.	б	59.	в	92.	б
27.	в	60.	б	93.	б
28.	г	61.	б	94.	в
29.	а	62.	а	95.	а
30.	а	63.	г	96.	б
31.	в	64.	в	97.	а
32.	б	65.	в	98.	б
33.	г	66.	г	99.	а

АЛФАВИТНО-ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Аккумулятор, 200, 202, 203, 337, 376, 385, 387
Активная ковшовая турбина, 60
Активная осевая турбина, 59
Альтернатор Ганца, 214

В

Ветряные мельницы, 34, 336
Витрувианский человек, 36
Водяное колесо, 4, 32, 33, 35, 49, 53, 124
Водяные двигатели, 33
«Вольтов столб», 83, 84, 382

Г

Газотурбинные электростанции, 309
Гальваническая ванна, 129
Гальванопластика, 128, 130
Гелиоэлектростанции, 320
Генератор «Альянс», 208, 248
Геотермальные электростанции, 316, 320
Гидроэлектростанции, 311
Горизонтальный двигатель внутреннего сгорания двойного действия, 63
Громоотвод, 79, 382

Д

Двигатель внутреннего сгорания, 5, 63, 65, 386
Двигатель внутреннего сгорания на тяжелом топливе, 64
Динамо-машина, 189, 215, 217, 307
Динамо-машина переменного тока Сименса, 215
Дифференциальная лампа, 169

З

Закон Джоуля-Ленца, 104, 105, 108, 187, 373, 384
Закон Ома, 88, 107, 384
Закон сохранения зарядов, 103

И

Индустриализация, 22

К

Калориметр, 78, 376, 382
Карборунд, 142
«Колесо Барлоу», 219, 367
«Коромысло Ампера», 242
Крутильные весы, 88, 101

Л

«Лейденская банка», 76, 77, 125, 449

М

Магнетизм, 72, 73, 84, 121, 381, 446
Магнитоэлектрическая машина Сименса, 209
Магнитоэлектрические генераторы, 207, 245, 246, 247
«Магдебургские полушария», 39
Малая сварочная машина Томсона, 188
Машина Севери, 42

Многоступенчатая осевая реактивная турбина большой мощности с особыми группами лопаток, 62

Н

Насос, 36, 38, 40, 41, 43, 65, 225, 240, 258, 284, 286, 293, 370, 447, 450, 451

О

Очистка металлов, 134

П

Пароатмосферная машина, 39, 447
Паровая водоподъемная установка Ньюкомена-Коули, 43
Паровая турбина активного типа, 61
Паровоз Стефенсона «Ракета», 51
Паровоз Черепановых, 50
Паровые машины, 41, 42, 50, 64, 216, 218, 282
Первая ГЭС «Белый уголь», 301
Первая магнитоэлектрическая машина братьев Пиксии, 206, 207
Первая центральная электростанция, 277
Первая электрическая железная дорога, 227
Первый дуговой источник света, 151
Первый четырёхтактный двигатель внутреннего сгорания, 64
Первый электромагнитный телеграф Шиллинга, 111
Принцип ступеней скорости, 62
Промышленный переворот, 21, 22, 55, 246, 283
Простейшие гальванические элементы, 194
Профессиональная инженерная ассоциация, 14
Процесс сжигания топлива, 66

Р

Радиальная реактивная турбина Фурнейрона, 59
Радиально-осевая турбина, 60
Реактивное колесо, 53

С

Самовозбуждающийся генератор Грамма, 213, 252
Сварочный станок для толстых стержней, 190
Силовые линии, 102, 103, 117, 118
Синхронный двигатель переменного тока, 234
Способы выщелачивания золота, 136
Станок Ампера, 93, 94
Станочный парк, 23
Стрелочный телеграф, 210, 211

Т

Теория горения топлива, 67
Теория сопла, 62
Теория электрических явлений Франклина, 47, 80
Теория электролиза, 128
Теория электромагнитного поля, 94, 116, 117, 119
Трансформатор, 190, 255, 256
Турбина, 5, 33, 52, 55, 56, 57, 59, 60, 61, 62, 68, 69, 309, 313, 315, 335, 352, 461

Турбина Геншеля – Жонваля, 59
Турбореактивный двигатель, 67

У

Уравнение Бернулли, 53
Устройство генератора Р. М., 206

Ц

Циклы Карно, 52

Э

Электрическая пайка, 187
Электрическая печь братьев Коулс, 139
Электрическая плавильная печь Муассана, 192
Электрическая природа молнии, 81
Электрическая сварка, 176, 188
Электрические двигатели, 68
Электрические искры, 82
Электрические лампы, 150
Электрический нагреватель, 173
Электрическое отбеливание, 143
Электрическое отопление, 171
Электричество, 9, 70, 78, 122, 162, 170, 351, 365, 369, 377, 453
Электродвигатели Тесла, 236
Электродвигатель, 96, 217, 221, 233, 235, 237, 238, 256, 286, 290
Электролизатор для беления по способу Эрмита, 144
Электромагнитная индукция, 95, 96, 99, 107, 117, 118, 187, 205, 375, 386, 451
Электрометр, 77, 376
Электростанции, 171, 229, 275, 276, 279, 280, 281, 282, 283, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 305, 307, 308, 309, 310, 316, 319, 320, 324, 325, 326, 329, 331, 334, 335, 341, 342, 347, 350, 354, 357, 361, 378, 386, 389, 390, 400, 401, 402, 403, 404, 406, 408, 409, 416, 420,433, 439, 455
«Электрогефест», 178, 180, 181
Электростатический генератор, 74, 381
Электроэнергетика, 3, 5, 6, 9, 31, 70, 145, 194, 217, 259, 296, 301, 347, 350, 355, 362, 365
Энергетические пороги, 4
Эолипил Герона, 35, 61
«Эффект Зеебека», 85
«Эффект Пельтье», 87

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ…… 3
ВВЕДЕНИЕ…… 4
КРАТКО О ЗНАЧЕНИИ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ……. 11
1. ИСТОРИЧЕСКИЕ ВЕХИ В РАЗВИТИИ ОБЩЕЙ ЭНЕРГЕТИКИ…… 32
1.1. Исторические начала энергетики: от водяного колеса до первых паровых машин…… 32
1.2. Эпоха пара и паровых машин…… 37
1.3. История турбин и их роль в развитии энергетики…….. 52
1.4. Двигатель внутреннего сгорания и его влияние на развитие энергетики……. 63
2. ИСТОРИЯ ПЕРВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ОТКРЫТИЙ: ОТ ПРИРОДЫ ВЕЩЕЙ ДО ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ЗАКОНОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ 70
2.1. История открытий в электротехнике и электроэнергетике 71
2.2. Первые законы электротехники..... 87
3. ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА, РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЙ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ …….. 126
3.1. Из истории развития электролиза, гальванопластики и других направлений применения химического действия тока …… 126
3.2. Из истории развития электрического освещения …… 145
3.3. Из истории развития электрического нагрева и сварки …….. 170
3.4. Из истории развития аккумуляторов электрической энергии …… 193
3.5. Из истории развития электрических машин ……. 204
3.6. Из истории развития электрических двигателей ……. 217
3.7. Из истории развития электрических генераторов …… 241
3.8. Из истории развития трансформаторов ……. 255
3.9. Из истории развития электротехнических материалов …… 263
4. ИСТОРИЧЕСКИЕ ВЕХИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ …… 275
4.1. История развития электростанций постоянного и переменного однофазного тока …….. 275
4.2. История развития линий электропередач постоянного и переменного тока …….. 283
4.3. История развития трехфазной системы тока …… 289
4.4. Развитие систем производства и передачи электроэнергии в России 297
4.5. Исторические вехи в развитии электрических станций 305
4.6. Развитие энергетики в России 347
4.7. Энергосистемы как основы энергетической стабильности экономики…… 353
ЗАКЛЮЧЕНИЕ…….. 362
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА……. 363
ПРИЛОЖЕНИЯ…… 367
АЛФАВИТНО-ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ……. 458

Учебное издание

Юдаев Игорь Викторович
доктор технических наук, профессор
Машков Сергей Владимирович
кандидат экономических наук, доцент
Гриднева Татьяна Сергеевна
кандидат технических наук, доцент
Васильев Сергей Иванович
кандидат технических наук, доцент

История развития электроэнергетики, электротехнологий и электрооборудования

Учебник

Подписано в печать 30.04.2021. Формат 60×841/16
Усл. печ. л. 26,9, печ. л. 28,9.
Тираж 500. Заказ №69.
Отпечатано с готового оригинал-макета в издательско-библиотечном центре
ФГБОУ ВО Самарского ГАУ
446442, Самарская область, г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2
E-mail: ssaariz@mail.ru

Василий Владимирович Петров (1761–1834 гг.)

Русский физик, электротехник, Исследователь и изобретатель, академик. Изобрёл гальваническую батарею, создававшую 1700 В и содержащую 4200 пластин, открыв новые горизонты исследований. Открыл электрическую дугу и явление Люминесценции, положив начало множеству блестящих открытий.

Павел Николаевич Яблочков (1847–1894 гг.)

Русский электротехник, исследователь, военный инженер, изобретатель и предприниматель. Изобрёл дуговую лампу - электрическую свечу, положив начало первой применимой системе освещения «Русский свет». «Свеча Яблочкова» освещала столицы Европейских городов – Парижа и Лондона. Основал «Товарищество электрического освещения» и основал электромеханический завод в Петербурге.

Александр Николаевич Лодыгин (1847–1923 гг.)

Русский электротехник, исследователь, и разносторонний изобретатель. Изобрёл лампу накаливания с вольфрамовой нитью накала, опередив Т. Эдисона. Изобретатель геликоптера – вертолёта с двигателем на борту. Изобретатель электрического отопления, кислородного электрореспиратора, электропечей для плавки металлов и руд. Внёс существенный вклад в развитие электротяги для Железных дорого, трамваев и метрополитена.

Министерство сельского хозяйства
Российской Федерации
Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Самарский государственный
аграрный университет»

Д. С. Сазонов, М. П. Ерзамаев, В. А. Милюткин

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ МАШИНОИСПОЛЬЗОВАНИЯ В АПК

Методические рекомендации
для выполнения курсовой работы

Кинель
ИБЦ Самарского ГАУ
2023

УДК 631.372 (07)
ББК 40.72р
С14

Рекомендовано учебно-методическим советом Самарского ГАУ

Сазонов, Д. С

С14 Научные основы организации машиноиспользования в АПК : методические указания / Д. С. Сазонов, М. П. Ерзамаев, В. А. Милюткин. – Кинель : ИБЦ Самарского ГАУ, 2023. – 51 с.

В методических указаниях приведены основные требования и рекомендации при выполнении курсовой работы. Дана методика по комплектованию машинно-тракторного агрегата и расчету его основных показателей работы, а также по разработке операционно-технологической карты на выполнение заданной технологической операции.

Издание предназначено для выполнения курсовой работы магистрантами, обучающимися по направлению 35.04.06 «Агроинженерия».

© ФГБОУ ВО Самарский ГАУ, 2023
© Сазонов Д. С., Ерзамаев М. П.,
Милюткин В. А., 2023

ПРЕДИСЛОВИЕ

Цель методических указаний – помочь магистрантам в выполнении разделов курсовой работы при комплектовании машинно-тракторного агрегата, расчете режимов работы двигателя трактора, разработка операционно-технологической карты ресурсосберегающей полевой технологической операции.

К методическим указаниям прилагаются необходимые справочные данные, используемые в ходе расчётов.

Повышение эффективности сельскохозяйственного производства всегда имеет первостепенное значение, но в настоящее время в связи с решением импортозамещения продовольствия это вызывает необходимость применения дополнительных мер для увеличения производства отечественного продовольствия.

Одним из важнейших факторов повышения продуктивности полей и ферм, качества сельскохозяйственной продукции, производительности труда, ресурсосбережения и экономической эффективности сельскохозяйственного производства является технико-технологическая обеспеченность.

Именно современные высокоэффективные, высокоточные, ресурсосберегающие технологии на базе высокопроизводительной и надежной сельхозтехники и оборудования позволяют достигнуть высоких экономических результатов.

Анализ тенденций развития сельского хозяйства, изучение инноваций, оценка направлений формирования технологических платформ и укладов, прежде всего в технико-технологическом обеспечении приоритетных подотраслей сельского хозяйства, позволяют констатировать, что разработка новых технологий и техники нацелена на дальнейшее повышение эффективности сельскохозяйственного производства и его конкурентоспособности.

Одним из эффективных и действенных инструментов решения этой стратегической для России задачи, как свидетельствует анализ, является разработка инновационных технологий и техники для формирования технико-технологической базы, которая обеспечит ускоренное развитие и создание интеллектуального сельского хозяйства России.

Внедрение современных технологий на основе высокопроизводительной техники и ее рациональное использование позволят решить стоящие перед сельским хозяйством задачи по увеличению производства сельхозпродукции.

1. СОДЕРЖАНИЕ, ПОРЯДОК СОСТАВЛЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Основанием для выполнения курсовой работы является задание, которое выдают магистранту на кафедре «Технический сервис». Задание прикладывается к расчетно-пояснительной записке.

Текст работы может быть выполнен рукописным способом или с применением печатающих и графических устройств через полтора интервала. Размер шрифта – 14, Times New Roman, абзацный отступ 1,25 см. Должны соблюдаться следующие размеры полей: левое – 3 см, правое – 1 см, верхнее – 1,5 см, нижнее – 2 см, выравнивание текста – по ширине.

Страницы работы нумеруют арабскими цифрами. На титульном листе номер не ставится, но включается в общую нумерацию работы. На страницах номер проставляют в центре нижней части листа без точки. Каждый раздел должен начинаться с нового листа.

Иллюстрированный материал следует располагать в работе непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые. На все иллюстрации должны быть ссылки в работе. Иллюстрации (чертежи, графики, схемы, документы, рисунки, снимки) должны быть пронумерованы и иметь названия под иллюстрацией. Нумерация иллюстраций может быть сквозной по всему тексту работы (например: рисунок 1, рисунок 2 и т.д.) или в пределах раздела (например, рисунок 1.1, 2.1. и т.д.).

Таблицы в располагаются непосредственно после текста, в котором они упоминается впервые или на следующей странице. На все таблицы должны быть ссылки в тексте. Нумерация таблиц может быть сквозной по всему тексту в пределах раздела или работы. Порядковый номер таблицы проставляется в правом верхнем углу над ее названием после слова «Таблица». Тематический заголовок таблицы размещается над таблицей и выравнивается по центру строки, точка в конце заголовка не ставится.

Формулы приводятся сначала в буквенном выражении, затем дается расшифровка входящих в них индексов, величин в той же последовательности, в которой они даны в формуле. Уравнения и формулы следует выделять из текста в отдельную строку. Уравнения и формулы нумеруются в круглых скобках справа от формулы. Нумерация уравнений и формул может быть сквозной по всему тексту курсовой работы (проекта) или в пределах раздела.

В работах обязательно применение единиц Международной системы единиц (СИ), а также кратных и дольных от них. Все слова должны быть написаны полностью. Сокращения могут допускаться только общепринятые.

Структура курсовой работы должна быть следующей.

Титульный лист (прил. 1).

Задание (прил. 2.).

Реферат (прил. 3.).

Оглавление (прил. 4).

Введение.

1. Анализ тяговых свойств трактора при выполнении технологической операции.

2. Комплектование машинно-тракторного агрегата.

3. Анализ и расчет режимов работы двигателя трактора

4. Разработка операционно-технологической карты

Выводы и предложения.

Список использованной литературы и источников.

Титульный лист оформляют по образцу.

Задание содержит исходные данные для выполнения курсовой работы.

Реферат – краткое точное изложение содержания курсовой работы, включающее основные фактические сведения и выводы. Рекомендуемый объем текста реферата 1 печатная страница.

Оглавление размещают после реферата. В нем перечисляют номера и названия всех глав, параграфов и указывают номера страниц, с которых они начинаются.

Введение в объеме 1-2 страницы должно освещать состояние и перспективы развития машинно-тракторного парка и организации его использования, цель и задачи курсовой работы, состав курсовой работы.

Основная часть должна содержать 4 раздела. При оформлении разделов необходимо записывать все промежуточные вычисления. После формулы записывается расшифровка всех её буквенных обозначений, после чего в формулу подставляются численные значения.

Выводы и предложения должны содержать выводы по результатам курсовой работы. Должны быть приведены основные технико-экономические показатели использования МТА.

Список использованной литературы и источников. В тексте пояснительной записки необходимо указывать ссылки на использованные литературные источники, методические и нормативные материалы. При ссылке на литературные источники указывается порядковый номер источника по списку. Номера источников указываются в квадратных скобках.

Все описания в списке должны быть составлены в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическое описание документа. Общие требования и правила сокращения».

Графическая часть содержит операционно-технологическую карту, которая выполняется на формате А1. Допускается распечатывать операционно-технологическую карту на формате А4.

Чертежи выполняются карандашом или применением печатающих и графических устройств. Они должны соответствовать требованиям ЕСКД и

методическим указаниям.

На всех листах графической части в правом нижнем углу должна располагаться основная надпись. Основная надпись должна быть заполнена в соответствии с ГОСТ 2.104-2006 «Единая система конструкторской документации. Основные надписи».

2. АНАЛИЗ ТЯГОВЫХ СВОЙСТВ ТРАКТОРА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ

Задачей раздела является определение сил сопротивления, действующих на трактор, а так же мощностей, требуемых для преодоления этих сил сопротивления при установившейся рабочей скорости.

Тяговый баланс трактора определяет собой равенство между движущей силой и суммой сил сопротивления, действующих на трактор. Баланс мощности представляет собой равенство между эффективной мощностью на валу двигателя и суммой мощностей, требуемых для преодоления действующих на трактор сил сопротивления.

2.1. Рабочая скорость трактора при выполнении им технологической операции должна соответствовать агротехническим требованиям на проведение данной операции (прил. 5). Так как скорость трактора зависит от выбранной передачи, то необходимо подобрать рабочие передачи (основную и запасную) для трактора (прил. 6), которые обеспечат движение агрегата в указанном диапазоне скоростей $V_{\text{Т}}$.

2.2. Для выбранных скоростей $V_{\text{Т}}$ необходимо определить передаточное число трансмиссии трактора $i_{\text{Т}}$ (прил. 6).

2.3. Определить касательную силу тяги P_K на движителях трактора, которая возникает в результате работы двигателя трактора, момент которого через трансмиссию передается на движители

$$P_K = \frac{9554 \cdot N_{eH} \cdot i_T \cdot \eta_{MГ}}{r_K \cdot n_H}, \text{Н},$$

где N_{eH} – номинальная мощность двигателя, кВт (прил. 7);

$i_{\text{Т}}$ – передаточное отношение трансмиссии на выбранной передаче;

$\eta_{MГ}$ – механический КПД трансмиссии.

для колесных тракторов $\eta_{MГ} = 0{,}91...0{,}92$.

для гусеничных тракторов $\eta_{MГ} = 0{,}86...0{,}88$.

$r_{\text{К}}$ – радиус качения ведущих колес или звездочки, м;

n_H – номинальная частота вращения коленчатого вала двигателя (прил. 7), об/мин;

Радиус качения для гусеничных тракторов: $r_К = r_0$;

Радиус качения для колесных тракторов: $r_К = r_0 + \lambda \cdot h$;

r_0 – радиус обода или начальной окружности звездочки (прил. 7), м;

λ – коэффициент усадки шины равный 0,75…0,80;

h – высота пневматической шины (прил. 7), м.

2.4. Рассчитать максимальную силу сцепления движителей трактора с почвой на заданных агрофонах:

$$F_{max} = \mu \cdot G_{СЦ},\ Н,$$

где μ – коэффициент сцепления движителей с почвой (прил. 8);

$G_{СЦ}$ – сила сцепного веса трактора, Н.

С достаточной для практических расчетов точностью можно принять для гусеничных и полноприводных тракторов сцепной вес равным весу трактора (прил. 7) $G_{СЦ} = G_Т$. Для колесных тракторов с одной ведущей осью сцепной вес равен $G_{СЦ} = 0{,}66...075G_Т$.

Величина коэффициентов сцепления зависит от типа почвы и ее состояния (рыхлая или плотная), влажности почвы, наличия растительного покрова, а также от типа ходовой части трактора (гусеничная или колесная модификация).

2.5. Выбрать движущую силу трактора на каждой передаче и агротехническом фоне, которая создается двигателем трактора. Движущая сила ограничена двумя независимыми друг от друга пределами. Первый предел движущей силы определяется величиной касательного усилия развиваемого на ободе ведущего колеса. Вторым пределом движущей силы может являться недостаточное сцепление ведущего аппарата трактора с почвой. Остановка трактора может произойти вследствие чрезмерного буксования движителей трактора. Учитывая, что движущая сила имеет два предела, для движения агрегата необходимо, чтобы максимальное усилие по сцеплению и максимальное усилие, развиваемое на ободе ведущего колеса, были больше сил сопротивления.

Движущая сила определяется путем сравнения касательной силы тяги P_K и максимальной силы сцепления F_{max}.

$$\text{если } P_K < F_{max}, \text{ то } P_{ДВ} = P_K;$$

$$\text{если } P_K > F_{max}, \text{ то } P_{ДВ} = F_{max}.$$

2.6. Определить силу сопротивления перекатыванию трактора, которая направлена против движения и зависит от веса трактора, типа движителей (гусеничные или колесные), от вида и состояния почвы, по которой движется трактор. Сила сопротивления перекатыванию определяется на заданных агрофонах.

$$P_{КАЧ} = f \cdot G_{ТР}, \text{ Н},$$

где f – коэффициент сопротивления перекатыванию (прил. 8)

2.7. При движении машинно-тракторного агрегата в гору (подъем) или при спуске появляются дополнительные усилия от составляющих сил веса трактора и агрегатируемых машин. Эти дополнительные усилия оказывают сопротивление передвижению агрегата в гору и помогают ему при движении под уклон. Поэтому необходимо определить силу сопротивления движению трактора на подъём.

$$P_{ПОД} = i \cdot G_{ТР}, \text{ Н},$$

где i – величина уклона в долях единицы.

2.8. Определить тяговое (крюковое) усилие трактора

$$P_{КР} = P_{ДВ} - P_{КАЧ} - P_{ПОД}, \text{ Н}.$$

2.9. При недостаточном сцеплении $P_K > F_{\max}$ необходимо определить усилие неиспользуемое по условиям сцепления

$$P_{НСЦ} = P_K - F_{\max}, \text{ Н}.$$

2.10. Определить рабочие скорости движения агрегата V_P.

$$V_P = V_T \cdot \eta_\delta, \text{ км/ч},$$

где η_δ – коэффициент, учитывающий буксование движителей.

$$\eta_\delta = 1 - \frac{\delta}{100},$$

где δ – буксование (прил. 9).

2.11. Определить тяговую мощность трактора, которая зависит от тягового усилия трактора и рабочей скорости его движения

$$N_{КР} = \frac{P_{КР} \cdot V_P}{3600}, \text{ кВт}.$$

2.12. Определить тяговый коэффициент полезного действия трактора в заданных условиях

$$\eta_T = \frac{N_{КР}}{N_{eH}}.$$

2.13. Определить мощность, теряемую в трансмиссии. Потери мощности в трансмиссии связаны с преодолением сил трения в подшипниках и между зубьями шестерен, а так же с взбалтыванием масла в картерах передач.

$$N_{ТР} = N_e(1 - \eta_{МГ}), \text{ кВт}.$$

2.14. Определить мощность, затрачиваемую на передвижение трактора

$$N_{КАЧ} = \frac{P_{КАЧ} \cdot V_P}{3600}, \text{ кВт.}$$

2.15. Определить мощность, затрачиваемую на преодоление подъема

$$N_{ПОД} = \frac{P_{ПОД} \cdot V_P}{3600}, \text{ кВт.}$$

2.16. Определить мощность, затрачиваемую на буксование ведущего аппарата

$$N_{БУК} = \frac{(P_{КР} + P_{КАЧ} + P_{ПОД}) \cdot (V_T - V_P)}{3600}, \text{ кВт}$$

2.17. Определить мощность, не используемую по условиям сцепления

$$N_{НСЦ} = \frac{P_{НСЦ} \cdot V_P}{3600}, \text{ кВт.}$$

2.18. Проверить равенство эффективной мощности двигателя по сумме составляющих мощности

$$N_{eH} = N_{КР} + N_{ТР} + N_{КАЧ} + N_{ПОД} + N_{БУК} + N_{НСЦ}, \text{ кВт.}$$

Допустимое отклонение 5%.

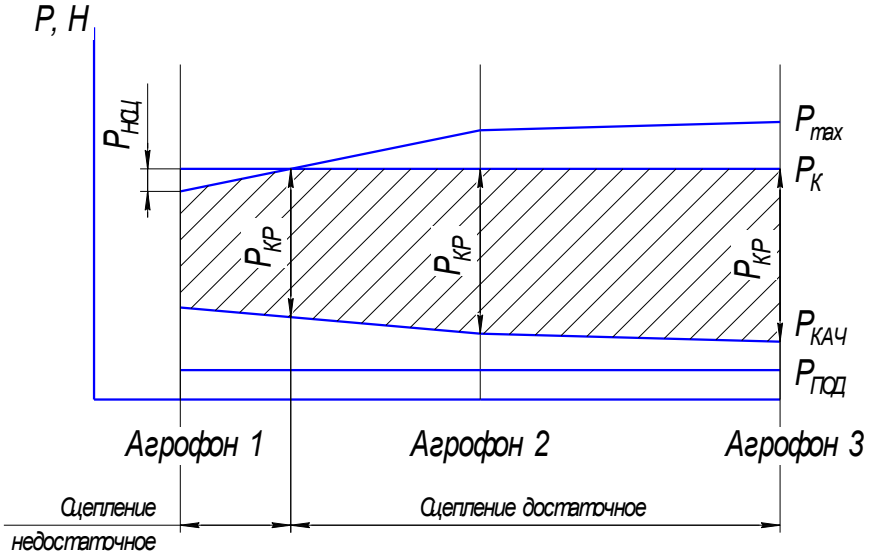


Рис. 1. График тягового баланса

2.19. Построить график тягового баланса трактора в зависимости от почвенных условий (рис. 1).

3. КОМПЛЕКТОВАНИЕ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА

Задачей раздела является определение ширины захвата агрегата, определение числа машин в агрегате, выбор сцепки, определение тягового сопротивления агрегата и его проверка, а так же выбор рабочей скорости.

3.1. При комплектовании агрегата необходимо предварительно определить наибольшую возможную ширину захвата агрегата при выбранных значениях скорости и соответствующего тягового усилия.

Для прицепного агрегата:

$$B_{\max} = \frac{P_{KP}}{k + g_M \cdot i + g_C \cdot (f_C + i)}, \text{ м},$$

где k – удельное сопротивление (прил. 10), Н/м;

$g_{\text{М}}$ – масса сельскохозяйственной машины, приходящейся на 1 метр ширины захвата, Н/м;

$$g_M = \frac{G_M}{B}, \text{ Н/м},$$

где G_M – масса сельскохозяйственной машины (прил. 11), Н;

B – ширина захвата машины (прил. 11) , м.

$g_{\text{С}}$ – масса сцепки на 1 метр ширины захвата, Н/м.

$$g_C = \frac{G_C}{B_C}, \text{ Н/м},$$

где G_C – масса сцепки (прил. 12), Н;

B_C – ширина захвата сцепки (прил. 12), м.

f_C – коэффициент сопротивления качению сцепки (прил. 8).

Для навесного агрегата.

$$B_{\max} = \frac{P_{KP}}{k_{\text{Н}} + g_M \cdot (\lambda \cdot f + i)}, \text{ м},$$

где $k_{\text{Н}}$ – удельное сопротивление навесной машины, Н/м;

$$k_{\text{Н}} = (0{,}8...0{,}85)k;$$

k – удельное сопротивление (прил. 10), Н/м;

$g_{\text{М}}$ – масса сельскохозяйственной машины, приходящей на 1 метр ширины захвата, Н/м;

$$g_M = \frac{G_M}{B}, \text{ Н/м},$$

где G_M – масса сельскохозяйственной машины (прил. 11), Н;

B – ширина захвата машины (прил. 11), м.

λ – коэффициент, учитывающий величину догрузки трактора при работе с навесными машинами:

- при пахоте $\lambda = 0{,}5...1{,}0$;
- при культивации $\lambda = 1{,}0...1{,}5$
- при глубоком рыхлении $\lambda = 1{,}6...2{,}0$.

3.2. Для многомашинных агрегатов необходимо определить число машин в агрегате с учетом ширины захвата одной машины:

$$m = \frac{B_{\max}}{B},$$

где B – ширина захвата одной машины, м.

Если, поученное число машин в агрегате дробное, то округление до целого числа проводится в меньшую сторону.

3.3. Определить фронт сцепки A. Фронт сцепки это расстояние между крайними точками, к которым можно присоединить машины.

$$A = (m-1) \cdot B, \text{ м.}$$

По полученному значению A выбрать сцепку (прил. 12).

В том случае, если полученное значение фронта сцепки превышает значения, указанные в приложении 12, то принимается сцепка с максимальным фронтом, при условии соответствия ее по техническим характеристикам с.х. машины, указанным в задании. И для этой сцепки определяется количество машин в агрегате:

$$m = \frac{A_{СЦ}}{B} + 1,$$

где $A_{СЦ}$ – фронт сцепки, указанный в приложении 12.

3.4. Фактическая ширина захвата агрегата:

$$B_{АГ} = B \cdot m, \text{ м.}$$

3.5. Определить тяговое сопротивление агрегата $R_{АГ}$, возникающее в результате перемещения агрегата и выполнения рабочей машиной технологического процесса

Прицепной агрегат:

$$R_{АГ} = k \cdot B \cdot m + G_M \cdot m \cdot i + G_С \cdot (f_C + i), \text{ Н.}$$

Навесной агрегат:

$$R_{АГ} = k \cdot B \cdot m + G_M \cdot m \cdot (\lambda \cdot f + i), \text{ Н.}$$

Пахотный агрегат:

$$R_{АГ} = k_П \cdot b_К \cdot m_К + G_П \cdot k_g \cdot i, \text{ Н,}$$

где $k_П$ – удельное сопротивление плуга, Н/см, которое определяется по зависимости:

$$k_П = k_0 \cdot h_В,$$

где k_0 – удельное сопротивление корпуса плуга (прил. 13) Н/см^2;

h_B – глубина вспашки, см (20…30 см).

b_K – ширина захвата корпуса плуга, см;

m_K – количество корпусов;

$G_П$ – вес плуга (прил. 11), Н;

k_g – коэффициент, учитывающий вес земли на корпусах плуга (1,1…1,4).

3.6. Определить коэффициент использования нормального тягового усилия $\eta_и$.

$$\eta_И = \frac{R_{АГ}}{P_{КР}}.$$

Рекомендуемые значения коэффициента использования тягового усилия.

Для пахотных агрегатов $\eta_И = 0{,}85...0{,}95$ (плуги и плоскорезы).

Для непахотных агрегатов $\eta_И = 0{,}92....0{,}98$ (бороны, культиваторы, сеялки).

Сравнить значение $\eta_И$, полученное в результате расчета с требуемым. Если $\eta_И$ больше 1,0, то необходимо перейти на передачу ниже и повторить расчет.

Если $\eta_И$ меньше указанных пределов, то необходимо повторить расчет для более высокой передачи. При этом необходимо учитывать, что с увеличением номера передачи возрастает скорость движения. В этом случае ограничением будут являться агротребования, устанавливающие предельную скорость движения сельскохозяйственной машины для данной операции. Для агрегатов, имеющих в своем составе несколько машин с целью улучшения $\eta_И$ может быть увеличено количество машин в составе агрегата.

При невозможности загрузить трактор до требуемых значений коэффициента использования без нарушений агротребований по скорости движения, необходимо принять ту передачу, при которой значение $\eta_И$ наибольшее.

3.7. Определить рабочую скорость движения агрегата V_P.

$$V_P = 0{,}377 \cdot \frac{n_Д \cdot r_K}{i_T} \cdot \eta_\delta, \text{ км/ч,}$$

где $n_Д$ – частота вращения коленчатого вала при расчетном режиме, мин$^{-1}$;

Частота $n_Д$ определяется по условиям сцепления движителя с почвой.

При достаточном сцеплении ($P_{КН} < F_{max}$):

$$n_Д = n_H + (n_X - n_H) \cdot \frac{P_{KP} - R_{AГ}}{P_{KH}}, \text{ мин}^{-1}.$$

При недостаточном сцеплении ($P_{KH} > F_{\max}$):

$$n_Д = n_H + (n_X - n_H) \cdot \frac{P_{KH} - F_{\max}}{P_{KH}}, \text{ мин}^{-1},$$

где n_X – частота вращения коленчатого вала на холостом ходу, мин$^{-1}$.

4. АНАЛИЗ И РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ ТРАКТОРА

4.1. По данным тормозным испытаниям двигателя (прил. 14) заполнить таблицу 1.

Таблица 1

Данные тормозных испытаний

n, мин$^{-1}$								
N_b, кВт								
M_b, Н·м								
G_T, кг/ч								
g_e, г/кВт·ч								

4.2. По данным таблицы 1 построить регуляторную (скоростную) характеристику тракторного двигателя (рис. 2).

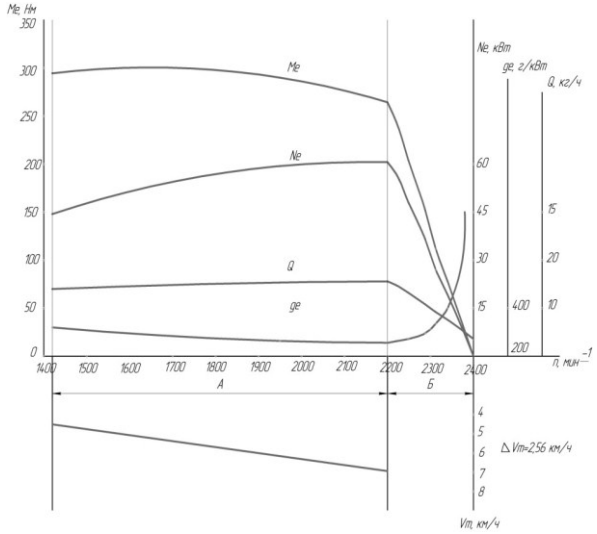


Рис. 2. Регуляторная (скоростная) характеристика тракторного двигателя: А – безрегуляторная зона, Б – регуляторная зона

По оси абсцисс наносят равномерную шкалу значений частоты вращения n, а по оси ординат – равномерные шкалы N_e, M_e, G_T, g_e. Причем шкалы каждого из показателей наносят по осям отдельно. Масштабы следует выбирать такими, чтобы кривые заполняли площадь рисунка и не было бы наложения кривой одного параметра на кривую другого параметра.

На построенной регуляторной характеристике обозначить регуляторную и безрегуляторную зоны, а так же показатели соответствующие четырем характерным режимам работы двигателя: при максимальной частоте коленчатого вала, при максимальной мощности и при максимальном крутящем моменте, а так же фактического режима, определенным расчетным путем.

4.3. По данным регуляторной (скоростной) характеристики дать эксплуатационную оценку показателей работы двигателя (таблица 2).

Таблица 2

Показатели работы двигателя на отдельных эксплуатационных режимах

Режим холостого хода	Номинальный режим	Режим соответствующий $M_{b\,max}$	Фактический режим
$n_{\text{Х}}$ = мин$^{-1}$	$n_{\text{Н}}$ = мин$^{-1}$	$n_{(\text{Memax})}$ = мин$^{-1}$	$n_{\text{д}}$ = мин$^{-1}$
N_{eX} = кВт	N_{eH} = кВт	$N_{e(\text{Memax})}$ = кВт	N_e = кВт
M_{eX} = Н·м	M_{eH} = Н·м	$M_{e(\text{Memax})}$ = Н·м	M_e = Н·м
$G_{\text{ТХ}}$ = кг/ч	$G_{\text{ТН}}$ = кг/ч	$G_{T(\text{Memax})}$ = кг/ч	$G_{\text{Т}}$ = кг/ч
g_{eX} = г/кВт·ч	g_{eH} = /кВт·ч	$g_{e(\text{Memax})}$ = г/кВт·ч	g_e = г/кВт·ч

4.4. Определить коэффициент приспособляемости двигателя по крутящему моменту

$$K_{П} = \frac{M_{e\max}}{M_{eH}}$$

Коэффициент приспособляемости двигателя является важнейшим показателем динамических свойств двигателя и показывает его приспособляемость к преодолению временных увеличений сопротивления агрегата без переключения на пониженную передачу.

Для современных тракторных дизельных двигателей величина этого коэффициента находится в пределах от 1,05 до 1,2.

4.5. Определить коэффициент, характеризующий снижения частоты вращения коленчатого вала двигателя при перегрузке:

$$K_{ВР} = \frac{n_{\text{ПР}}}{n_{\text{Н}}}$$

Ввиду того, что при перегрузке снижается частота вращения вала двигателя, а следовательно, и скорость агрегата, в результате чего увеличивается

возможность трактора преодолеть небольшое временно возросшее сопротивление агрегата без переключения на низшую передачу.

У двигателей тракторов величина коэффициента, характеризующего снижения частоты вращения коленчатого вала двигателя при перегрузке должна составлять 0,5…0,7.

4.5. Определить коэффициент использования номинальной мощности двигателя:

$$\eta_{N_e} = \frac{N_e}{N_{eH}},$$

4.6. Определить коэффициент фактической загрузки двигателя:

$$\eta_{M_e} = \frac{M_e}{M_{eH}},$$

4.7. Определить запас касательной силы тяги трактора при неустановившемся характере тяговой нагрузки.

$$P_{K3} = P_{K\max} - P_{KH},\ \text{Н}.$$

$$P_{K\max} = \frac{0{,}97 \cdot M_{e\max} \cdot i_T \cdot \eta_{MГ}}{r_K},\ \text{Н},$$

$$P_{KH} = \frac{M_{eH} \cdot i_T \cdot \eta_{MГ}}{r_K},\ \text{Н}.$$

4.8. Построить график (рис. 2) зависимости удельного расхода топлива g_e от степени загрузки двигателя. Для этого по характеристике двигателя (регуляторной зоне) определить удельный расход топлива, соответствующий использованию мощности N_{eH} на 100, 90, 80, 70, 60, 50%. Для чего на кривой N_e наметить точки соответствующие указанной мощности и проведя через них вертикальные прямые до пересечения с кривой расхода топлива g_e – снять показания. Пересчитать в процентах. Данные свести в таблицу 3.

Оценить характер (крутизну) протекания кривой при наиболее распространенном режиме работы двигателя в 70…90% степени загрузки двигателя.

Таблица 3

Изменение удельного расхода топлива от загрузки двигателя

Загрузка двигателя		Удельный расход	
N_e, %	N_e, кВт	g_e, г/кВт ч	g_e, в % g_{eH}
100	N_{eH} =	g_{eH} =	100
90			
80			
70			
60			
50			

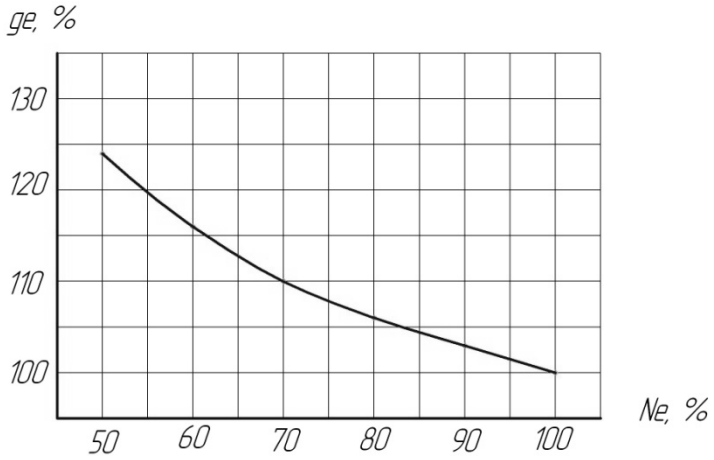


Рис. 3. Зависимость удельного расхода топлива от степени загрузки двигателя

По результатам расчетов раздела дать заключение об эксплуатационных показателях работы двигателя и машинно-тракторного агрегата.

4.9. Определить абсолютное уменьшение теоретической скорости движения при снижении частоты вращения коленчатого вала от номинальной до предельной.

$$\Delta V_T = V_{TH} - V_{TП},\ \text{км/ч}.$$

где V_{TH}, $V_{TП}$ – теоретическая скорость движения трактора на заданной передаче соответственно при $n_{\text{Н}}$ и $n_{(\text{Memax})}$.

$$V_{TH} = 0{,}377 \cdot \frac{n_H \cdot r_K}{i_T},\ \text{км/ч},$$

$$V_{TП} = 0{,}377 \cdot \frac{n_{ПР} \cdot r_K}{i_T},\ \text{км/ч}.$$

4.10. Определить удельное тяговое сопротивление агрегата, соответствующее теоретической скорости движения трактора на заданной передаче при номинальной частоте вращения коленчатого вала двигателя

$$k_Ф = k\left[1 + (V_{TH} - V_0) \cdot \frac{\Delta C}{100}\right],\ \text{Н/м},$$

где ΔC – коэффициент характеризующий темп прироста сопротивления при повышении скорости движения на 1 км/ч от начального значения V_0=5 км/ч (прил. 15).

4.11. Определить косвенный и общий запас тяги трактора при работе двигателя в зоне перегрузки. Косвенный запас тяги численно равен уменьшению тягового сопротивления агрегата вследствии снижения частоты вращения коленчатого вала, а значит, и скорости движения трактора при работе с перегрузкой:

$$P_{КЗК} = (V_{ТН} - V_{ТП})\frac{\Delta C}{100} \cdot k_{Ф} \cdot B_{АГ},\ \text{Н}.$$

Общий запас силы тяги трактора, обусловленный запасом крутящего момента двигателя и снижением тягового сопротивления машин из-за уменьшения скорости движения агрегата при работе с перегрузкой равен сумме

$$\sum P_{З} = P_{КЗ} + P_{КЗК},\ \text{Н}.$$

Сделать заключение о динамических и экономических показателей работы двигателя трактора в заданных условиях.

5. РАЗРАБОТКА ОПЕРАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЫ

Задачей раздела является составление операционно-технологической карты, а так же определение основных кинематических характеристик трактора, рабочего участка и производительности МТА.

5.1. Выбрать способ движения агрегата исходя из агротехнических требований, предъявляемых к производственному процессу.

Челночный способ движения – один из самых распространенных благодаря своей простоте, и для него не надо разбивать поле на загоны. Этим способом выполняют подавляющее большинство операций: внесение удобрений; лущение стерни и дискование; плоскорезную обработку почвы; вспашку оборотным и фронтальным плугами; боронование при небольшой ширине захвата агрегата; сплошную культивацию; прикатывание почвы; посев и посадку сельскохозяйственных культур; междурядную обработку пропашных культур; уборку сельскохозяйственных культур агрегатами с фронтальными рабочими органами, навешиваемыми на трактор спереди, и др.

Всвал, вразвал и чередование загонов всвал и вразвал связаны с вспашкой и, естественно, их чаще применяют на этой операции. Однако эти способы движения возможны и на некоторых других операциях, включая лущение стерни и дискование, боронование, посев зерновых (непропашных) культур; уборку сельскохозяйственных культур и др.

Беспетлевой комбинированный способ движения чаще применяют на вспашке, а также на уборке картофеля и сахарной свеклы, где нежелательны петлевые повороты.

В зависимости от выбранного способа движения, определить ширину поворотной полосы (часть загона, временно выделяемая для поворотов):

При петлевых поворотах $E = 3 \cdot R + e$, м.

При беспетлевых поворотах $E = 1{,}5 \cdot R + e$, м,

где R – радиус поворота агрегата, м;

e – длина выезда агрегата, м.

Длина выезда агрегата e – расстояние, на которое нужно продвинуть агрегат от контрольной линии на поворотной полосе до начала поворота с тем, чтобы избежать огрехов или порчи растений.

$e = 0{,}5 - 0{,}75 l_{\text{а}}$ – для прицепных машин;

$e = 0{,}35 - 0{,}65 l_{\text{а}}$ – для навесных машин.

где $l_{\text{а}}$ – кинематическая длина агрегата, которая складывается из кинематических длин трактора l_{TP}, сцепки l_C и рабочей машины l_M.

$$l_{\text{а}} = l_{\text{ТР}} + l_{\text{С}} + l_{\text{М}}, \text{ м},$$

где $l_{\text{ТР}}$ – кинематическая длина трактора (прил. 16), м;

$l_{\text{С}}$ – кинематическая длина сцепки (прил. 16), м;

$l_{\text{М}}$ – кинематическая длина с.х. машины (прил. 16, 20), м;

Радиус поворота агрегата – R определяется следующим образом:

Для посевных и культиваторных агрегатов:

с одной машиной $R = 1{,}7 B_{\text{АГ}}$;

с двумя машинами $R = 1{,}2 B_{\text{АГ}}$;

с тремя машинами $R = 0{,}9 B_{\text{АГ}}$;

с четырьмя-пятью $R = 0{,}8 B_{\text{АГ}}$.

Бороновальные и лущильные агрегаты: $R = B_{\text{АГ}}$.

Навесные агрегаты: $R = R_{\text{ТРАКТОРА}}$ (прил. 17).

Прицепные пахотные агрегаты: $R = (3{,}4...7) B_{АГ}$.

В связи с тем, что ширина поворотной полосы должна быть кратной ширине захвата агрегата, то после расчетов необходимо откорректировать полученное значение ширины поворотной полосы *E*.

5.2. Определить рабочую длину загона по выражению:

$$L_P = L - 2E, \text{ м},$$

где L – длина поля, м.

5.3. Для способов движения, которые требуют разбивки поля на загоны, необходимо определить ширину загона и количество загонов.

Движение всвал, вразвал:

$$C = \sqrt{2 B_{АГ} \cdot L + 16 R^2}, \text{ м}.$$

Комбинированный способ движения:

$$C = \sqrt{3B_{\text{АГ}} \cdot L}\ , \text{м}.$$

Круговой способ:

$$C = 0{,}22 \cdot L\ , \text{м}.$$

Расчетная ширина загона должна корректироваться с тем, что бы она была кратной двойной ширине захвата агрегата.

Количество загонов:

$$n_3 = \frac{B_{П}}{C},$$

где $B_{П}$ – ширина поля, м.

5.4. Определить длину холостого пути в зависимости от выбранного способа движения.

Челночный способ движения (петлевые грушевидные повороты):

$$l_X = 6R + 2e\ , \text{м}.$$

Способ движения «всвал» или «вразвал»:

$$l_X = 2{,}4R + 0{,}5C - 0{,}5B_{АГ} + 2e\ , \text{м}.$$

Комбинированный способ движения:

$$l_X = 1{,}4R + 0{,}5C - \frac{2R \cdot B_{АГ}}{C - B_{АГ}} + 2e\ , \text{м}.$$

5.5. Коэффициент рабочих ходов определяется по формуле

$$\varphi = \frac{L_P}{L_P + l_X}.$$

5.6. Определить чистое рабочее время смены из уравнения баланса времени смены

$$T = T_P + t_X + t_1 + t_2 + t_Л\ , \text{ч},$$

$$T_P = T - t_X - t_1 - t_2 - t_Л\ , \text{ч},$$

где T =7 ч – общее время смены,

t_X – время, затраченное на повороты и холостые заезды, ч;

t_1 – время, затраченное на технологическое обслуживание, ч;

t_2 – время, затраченное на организационно техническое обслуживание проводимое, как правило, в начале смены (прил. 18), ч;

$t_Л$ – время, затраченное на личные нужды обслуживающего персонала, принимается равным 0,2 ч.

5.7. Время, необходимое на совершение одного цикла:

$$t_Ц = \frac{2 \cdot (L_P + l_X)}{500 \cdot V_P} + t_0, \text{ч},$$

где t_0 – время остановок, затраченное на технологическое обслуживание за цикл;

$$t_0 = t_T + t_{OC} \cdot z \text{, ч,}$$

где z – количество остановок за цикл, необходимых для технологических обслуживаний;

t_{OC} – длительность одной остановки агрегата для циклического технологического обслуживания (заправка технологических емкостей или выгрузка из них); ч

$$t_{OC} = 0{,}05 \cdot m \text{, ч,}$$

где m – количество машин в агрегате, шт.

t_T – время, затрачиваемое на технологическое обслуживание рабочих органов (очистка рабочих органов, проверка глубины обработки, высоты среза, нормы высева, величины потерь и т. д.) (прил. 19);

Для агрегатов, не имеющих технологических емкостей время, затрачиваемое на циклическое технологическое обслуживание $t_0 = t_T$.

$$Z = \frac{2 \cdot L_P}{l_{OC}}$$

где l_{OC} – путь заполнения или опорожнения емкости, м.

$$l_{OC} = \frac{10^4 \cdot V \cdot \gamma \cdot \psi}{h \cdot B_{AГ}}, \text{ м,}$$

где V – объем емкости на машине, м^3 (прил. 21);

γ – плотность материала, кг/м^3;

ψ – коэффициент использования емкости (0,94);

h – норма высева, кг/га;

$B_{AГ}$ – ширина захвата машины, м.

5.8. Количество циклов за смену:

$$n_{Ц} = \frac{T - t_2 - t_{Л}}{t_{Ц}}.$$

5.9. Время, затраченное на повороты и холостые заезды:

$$t_X = \frac{l_X}{500 \cdot V_P} \cdot n_{Ц} \text{, ч}$$

5.10. Время остановок агрегата для циклического технологического обслуживания

$$t_1 = t_0 \cdot n_{Ц} \text{, ч.}$$

5.11. Определить общий коэффициент использования времени смены:

$$\tau = \frac{T_p}{T}.$$

5.12. Производительность агрегата:

За цикл:

$$W_Ц = \frac{2 \cdot L_P \cdot B_{АГ}}{10000}, \text{ га/цикл.}$$

За час:

$$W = \frac{W_Ц}{t_Ц}, \text{ га/ч.}$$

За смену:

$$W_{СМ} = 0{,}1 \cdot B_{АГ} \cdot V_P \cdot T_P, \text{ га/см.}$$

5.13. Удельный расход топлива при работе агрегата.

$$\theta_{ГА} = \frac{Q_P \cdot T_P + Q_X \cdot t_X + Q_0 \cdot t_{ОСТ}}{W_{СМ}}, \text{ кг/га.}$$

где Q_P – расход топлива двигателем трактора под нагрузкой, кг/ч;

$$Q_P = \frac{N_{eH} \cdot g_{eH}}{1000}, \text{ кг/ч,}$$

где g_{eH} – удельный расход топлива двигателем трактора (прил. 7), г/кВт·ч

Q_X – расход топлива двигателем трактора при поворотах и холостых заездах, принимаемый 70-75% от расхода топлива двигателем трактора под нагрузкой, кг/ч;

Q_0 – расход топлива двигателем трактора при остановках, принимаемый 10% от расхода топлива двигателем трактора под нагрузкой, кг/ч;

T_P, t_X и $t_{ОСТ}$ – соответственно чистое рабочее время; время, затрачиваемое на повороты и время остановок для технологического обслуживания.

$$t_{ОСТ} = t_1 + t_Л, \text{ ч.}$$

5.14. Определить прямые эксплуатационные затраты $З_{ЭКС}$ денежных средств, приходящиеся на выполнение единицы наработки, которые согласно ГОСТ 34393-2018 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки» определяются по формуле

$$З_{ЭКС} = З_{О.Т} + З_{ТСМ} + З_Р + А + И_{В.М.}, \text{ руб./га,}$$

где $З_{О.Т}$ – затраты средств на оплату труда обслуживающего персонала, руб./га;

$З_{ТСМ}$ – затраты средств на топливо-смазочные материалы руб./га;

$З_Р$ – затраты средств на ремонт и техническое обслуживание, руб./га;

$А$ – амортизационные отчисления, руб./га;

$И_{В.М.}$ – издержки денежных средств на вспомогательные технологические материалы, руб./га.

Затраты средств на оплату труда обслуживающего персонала:

$$З_{О.Т} = \frac{\sum_{k=1}^{n_{МЕХ}} \lambda_k \cdot \tau_k \cdot К_З}{W_{СМ}}, \text{ руб./га,}$$

где λ_k – количество обслуживающего персонала *k*-й квалификации, чел.;

$n_{МЕХ}$ –число обслуживающего персонала, чел.

τ_k – часовая оплата труда обслуживающего персонала *k*-й квалификации, руб./чел.-ч;

$К_З$ – коэффициент, учитывающий уровень социальных отчислений от зарплаты, регламентируемых законодательством;

Затраты денежных средств на оплату ГСМ

$$З_{ТСМ} = \theta_{ГА} \cdot Ц_Т \cdot К_{СМ.М}, \text{ руб./га,}$$

$Ц_Т$ – цена моторного топлива, руб./кг ;

$К_{СМ.М}$ – коэффициент учета стоимости смазочных материалов.

Затраты средств на ремонт и техническое обслуживание техники по нормам отчислений от цены машины

$$З_Р = \frac{\sum_{j=1}^{n_М} Б_{М_j} \cdot К_{Р_j}}{W_{ЭКС}} \cdot 10^{-4}, \text{ руб./га,}$$

где $n_М$ – число техники, входящей в МТА

$Б_{М_j}$ – цена *j*-ой техники (без НДС), руб.;

$К_{Р_j}$ – значение отчислений на ремонт и техническое обслуживание от цены *j*-ой техники на 100 ч ее работы, принятый в конкретном государстве, % (прил. 21);

$W_{ЭКС}$ – производительность цены *j*-ой техники за 1 ч эксплуатационного времени, ч.

Амортизационные отчисления

$$А = \frac{1}{W_{СМ}} \sum_{j=1}^{n_М} \frac{Б_{М_j}}{R_{М_j}}, \text{ руб./га,}$$

где R_{M_j} – значение амортизационного ресурса *j*-ой техники (прил. 21).

Издержки денежных средств на вспомогательные технологические материалы

$$И_{B.M.} = \sum_{f=1}^{n_{B.M.}} g_f Ц_{B.M_f}, \text{ руб./га,}$$

где $n_{B.M}$ – число наименований вспомогательного технологического материала, руб.

g_f – удельный расход *f*-го вспомогательного технологического материала кг/ед. наработки;

$Ц_{B.M_f}$ – цена *f*-го вспомогательного технологического материала, руб.

5.15. По результатам расчетов составляется операционно-технологическая карта (прил. 22).

6. ПОДГОТОВКА К ЗАЩИТЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ И КРИТЕРИИ ВЫСТАВЛЕНИЯ ОЦЕНКИ

Законченная курсовая работа сдается на проверку, после исправления ошибок и недочетов, магистрант защищает курсовую работу перед комиссией из трех преподавателей согласно. Защита курсовой работы проводится по графику, в специально отведенное время. Продолжительность доклада магистранта по основным разделам работы – до 5 мин и ответы на вопросы членов комиссии и присутствующих – до 7 мин.

Подготовка к защите сводится к написанию тезисов доклада и оформлению иллюстративных материалов (презентации). Для иллюстрации доклада могут быть использованы графические материалы работы, а также специально подготовленные плакаты, слайды или презентация.

При подготовке доклада и презентации следует придерживаться общих требований принятых в университете.

Рекомендуется следующая последовательность изложения: тема курсовой работы постановка задач и проблемы, анализ состояния изучаемого вопроса, обоснование и принятие решений по разделам курсовой работы, выводы и предложения для производства.

Во время защиты комиссией ведется протокол, в котором записываются задаваемые вопросы.

С учетом содержания, качества оформления и защиты работы комиссия оценивает защиту по пятибалльной шкале.

На оценку влияют: обоснованность принятых решений; правильность расчетов и качество оформления пояснительной записки (оценка выставля-

ется преподавателем, проверяющим пояснительную записку); качество доклада; правильность и полнота ответов на вопросы.

Комиссия оценивает курсовые работы по следующим критериям: соответствие содержания и темы, полнота решения поставленных задач, уровень выполнения расчетов, достоверность полученных результатов, применение информационных технологий, качество оформления и соответствие требованиям, качество доклада, правильность и полнота ответов на вопросы.

Оценку «отлично» рекомендуется выставлять магистранту, если работа выполнена на заданную тему, разделы разработаны грамотно, решения обоснованы и подтверждены расчетами. Пояснительная записка и графическая часть выполнены качественно. Магистрант сделал логичный доклад, раскрыл особенности, проявил большую эрудицию, аргументировано ответил вопросы членов комиссии.

Оценка «хорошо» выставляется, если работа выполнена в соответствии с заданием, расчеты выполнены грамотно, но их обоснование не является достаточно глубоким. При этом ошибки не имеют принципиального характера, а работа оформлена в соответствии с установленными требованиями с небольшими отклонениями. Магистрант сделал хороший доклад и правильно ответил на большинство вопросов членов комиссии.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если работа выполнена в полном объеме, но содержит недостаточно убедительное обоснование, существенные технические ошибки, свидетельствующие о проблемах в знаниях магистранта, но в целом не ставящие под сомнение его подготовку по дисциплине. При этом пояснительная записка, графическая часть выполнены небрежно. Магистрант не раскрыл основные положения своей работы, ответил правильно только на половину вопросов.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если работа выполнена не в полном объеме, содержит грубые ошибки в расчетах и принятии решений, количество и характер которых указывает на недостаточную подготовку. Доклад сделан неудовлетворительно, содержание основных разделов не раскрыто; качество оформления проекта низкое, магистрант не правильно ответил на большинство вопросов, показал слабую подготовку.

Магистрантам, получившим неудовлетворительную оценку по курсовому проекту, предоставляется право выполнения работы по новой теме, или по решению руководителя и заведующего кафедрой, доработки прежней темы и определяется новый срок для ее защиты. Повторная защита курсовой работы допускается не более двух раз.

При выставлении оценки комиссия учитывает наличие у магистранта знаний и умений пользоваться научными методами познания, творческого подхода к решению инженерной задачи, владения навыками находить теоретическим путем ответы на сложные вопросы в области эффективного ис-

пользования машин в АПК.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Пример оформления титульного листа

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Самарский государственный аграрный университет»

кафедра «Технический сервис»

Курсовая работа

по дисциплине «Научные основы организации машиноиспользования в АПК»

Тема: _____
_____

Выполнил:
Магистрант ___ курса
Группы ____
Форма обучения_____
направления подготовки _____
профиля подготовки _____

личный номер _____
(номер зачетной книжки)

_____
(Фамилия, Имя, Отчество магистранта полностью)

К защите допущен: _____ / _____ /
(подпись) (инициалы, фамилия)

_____ / _____ /
_____ / _____ /
Оценка _____ _____ / _____ /
(цифрой и прописью) (подписи членов комиссии) (расшифровка подписи)

Кинель 20__

Приложение 2

Пример оформления задания

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Самарский государственный аграрный университет»

Кафедра «Технический сервис»

Задание
на курсовую работу по дисциплине
«Научные основы организации машиноиспользования в АПК»

Тема: «Проектирование энергосберегающей технологической операции с разработкой операционно-технологической карты на её выполнение»

Магистранту _____
(Фамилия, Имя, Отчество)

Исходные данные для расчета:
Марка трактора – К-744Р2.
Марка СХМ – ЛДГ-20.
Уклон поля – 2,5%.
Размеры поля: 900×1200 м.

1. Проанализировать тяговые свойства трактора при выполнении заданной технологической операции.
2. Выполнить расчет по комплектованию машинно-тракторного агрегата.
3. Рассчитать и проанализировать режимы работы двигателя трактора при заданных условиях.
4. Разработать операционно-технологическую карту.

Руководитель _____ _____
(подпись) *(расшифровка подписи)*

Задание выдано «____» _____20___г.

Приложение 3

Пример оформления реферата

РЕФЕРАТ

Работа представлена пояснительной запиской и графической частью на листе формата А1. Пояснительная записка содержит 32 страницы машинописного текста, включает 2 таблицы, 3 рисунка и 8 наименований использованных источников.

Ключевые слова: трактор, машинно-тракторный агрегат, режимы работы, затраты.

Сокращения, используемые в тексте:

МТА – машинно-тракторный агрегат;

ДВС – двигатель внутреннего сгорания;

ОТК – операционно-технологическая карта;

т.д. – и так далее.

В работе проанализированы тяговые свойства трактора К-742М на различных агрофонах. Выполнены расчеты по комплектованию машинно-тракторного агрегата состоящего из трактора К-742М и с.х. машины ЛДГ-10. Построена регуляторная характеристика двигателя трактора, а так же разработана операционно-технологическая карта лущения стерни.

Приложение 4

Пример оформления оглавления

Оглавление

стр

Введение……..……
1 Анализ тяговых свойств трактора при выполнении технологической операции …….…..……..
2 Комплектование машинно-тракторного агрегата……..……..
3 Анализ и расчет режимов работы двигателя трактора……..
4 Разработка операционно-технологической карты……
Выводы и предложения……...
Список использованной литературы и источников…….
Приложения……..

Приложение 5

Рекомендуемые скорости движения машинно-тракторных агрегатов

Наименование производственного процесса	Рекомендуемая скорость, км/ч
Вспашка обычными плугами	4…8
Вспашка скоростными плугами	6…10
Глубокое рыхление плоскорезами	7…11
Поверхностная обработка плоскорезами	7…12
Культивация пара	7…10
Лущение дисковыми лущильниками	6…10
Боронование зубовыми боронами	5…10
Прикатывание катками	7…12
Посев зерновыми сеялками	7…12
Посев сеялками-культиваторами	5…7
Посев свеклы	6…9
Посадка картофеля	4…6
Посев кукурузы	6…9
Разбрасывание минеральных удобрений	9…15
Разбрасывание органических удобрений	7…9
Междурядная культивация пропашных: – первая – вторая и последующие	 4..9 7,5…10
Рыхление междурядий сахарной свеклы и окучивание картофеля	4..6
Косьба зерновых рядковыми жатками в валки	6…10
Подбор валков	5…8
Прямое комбайнирование	4…8
Уборка кукурузы	5…9
Уборка сахарной свеклы комбайном	2,5…8,5
Уборка картофеля комбайном	1,5…4,5
Кошение трав на сено	5…10
Уборка трав косилками-измельчителями	5…10
Подбор и прессование сена и соломы	5…9
Снегозадержание	6…10

Приложение 6

Передаточные числа трансмиссии тракторов

Передача	Марка трактора							
	К-730М		К-735М		К-739М		К-742М	
	V_T	i_T	V_T	i_T	V_T	i_T	V_T	i_T
1	5,22	121,46	5,22	121,46	5,22	121,46	5,22	121,46
2	6,30	100,68	6,30	100,68	6,30	100,68	6,30	100,68
3	7,58	83,68	7,58	83,68	7,58	83,68	7,58	83,68
4	9,12	69,51	9,12	69,51	9,12	69,51	9,12	69,51
5	8,53	74,28	8,53	74,28	8,53	74,28	8,53	74,28
6	10,29	61,59	10,29	61,59	10,29	61,59	10,29	61,59
7	12,38	51,19	12,38	51,19	12,38	51,19	12,38	51,19
8	14,91	42,53	14,91	42,53	14,91	42,53	14,91	42,53
9	11,23	56,45	11,23	56,45	11,23	56,45	11,23	56,45
10	13,55	46,79	13,55	46,79	13,55	46,79	13,55	46,79
11	16,30	38,88	16,30	38,88	16,30	38,88	16,30	38,88
12	19,62	32,31	19,62	32,31	19,62	32,31	19,62	32,31
13	18,36	34,52	18,36	34,52	18,36	34,52	18,36	34,52
14	22,15	28,62	22,15	28,62	22,15	28,62	22,15	28,62
15	26,65	23,79	26,65	23,79	26,65	23,79	26,65	23,79
16	32,08	19,76	32,08	19,76	32,08	19,76	32,08	19,76

Продолжение приложения 6

Передача	Марка трактора							
	К-744 Р		К-744 Р1		К-744 Р2		К-744 Р3	
	V_T	i_T	V_T	i_T	V_T	i_T	V_T	i_T
1	5,08	126,11	5,08	126,11	5,08	126,11	5,08	126,11
2	6,15	104,01	6,15	104,01	6,15	104,01	6,15	104,01
3	7,43	86,12	7,43	86,12	7,43	86,12	7,43	86,12
4	8,29	77,17	8,29	77,17	8,29	77,17	8,29	77,17
5	8,92	71,73	8,92	71,73	8,92	71,73	8,92	71,73
6	10,05	63,67	10,05	63,67	10,05	63,67	10,05	63,67
7	12,13	52,79	12,13	52,79	12,13	52,79	12,13	52,79
8	14,60	43,85	14,60	43,85	14,60	43,85	14,60	43,85
9	10,90	58,75	10,90	58,75	10,90	58,75	10,90	58,75
10	13,22	48,41	13,22	48,41	13,22	48,41	13,22	48,41
11	15,94	40,16	15,94	40,16	15,94	40,16	15,94	40,16
12	19,21	33,32	19,21	33,32	19,21	33,32	19,21	33,32
13	17,89	35,78	17,89	35,78	17,89	35,78	17,89	35,78
14	21,73	29,46	21,73	29,46	21,73	29,46	21,73	29,46
15	26,07	24,55	26,07	24,55	26,07	24,55	26,07	24,55
16	31,47	20,34	31,47	20,34	31,47	20,34	31,47	20,34

Продолжение приложения 6

Передача	Марка трактора							
	К-701		К-525		МТЗ-82.1		МТЗ-900	
	V_T	i_T	V_T	i_T	V_T	i_T	V_T	i_T
1	2,92	197,98	4,58	121,46	2,47	241,95	2,29	261,42
2	3,54	163,46	5,52	100,68	4,21	142,10	2,46	242,61
3	4,27	135,60	6,64	83,68	6,99	85,55	2,67	223,88
4	5,14	112,65	8,00	69,51	8,79	68,00	2,91	205,15
5	7,13	81,12	7,48	74,28	10,41	57,43	3,21	186,42
6	8,65	66,93	9,02	61,59	12,19	49,06	3,57	167,69
7	10,42	55,54	10,86	51,19	14,97	39,94	4,01	148,96
8	12,56	46,08	13,07	42,53	17,73	33,73	4,59	130,23
9	7,92	73,06	9,85	56,45	32,98	18,13	5,36	111,50
10	9,60	60,27	11,88	46,79	0,73	816,58	6,45	92,77
11	11,59	49,93	14,29	38,88	1,25	479,59	8,08	74,04
12	13,94	41,52	17,20	32,31	-	-	10,81	55,31
13	19,44	29,76	16,10	34,52	-	-	16,35	36,58
14	23,59	24,53	19,42	28,62	-	-	33,50	17,85
15	28,48	20,32	23,36	23,79	-	-	-	-
16	34,06	16,99	28,13	19,76	-	-	-	-

Продолжение приложения 6

Передача	Марка трактора							
	МТЗ-1221		МТЗ-1523		ЛТЗ-155		ХТЗ-17421	
	V_T	i_T	V_T	i_T	V_T	i_T	V_T	i_T
1	1,83	311,2	1,58	360,61	1,83	282,18	3,05	186,74
2	1,96	291,85	1,69	337,81	2,01	257,00	3,31	171,73
3	2,09	272,57	1,81	315,06	2,15	239,80	3,63	156,76
4	2,25	253,28	1,95	292,31	2,32	222,60	4,01	141,79
5	2,44	233,99	2,12	269,56	2,51	205,40	4,48	126,82
6	2,66	214,70	2,31	246,81	2,74	188,20	5,09	111,85
7	2,92	195,41	2,55	224,06	3,02	171,00	5,87	96,88
8	3,24	176,12	2,84	201,31	3,36	153,80	6,94	81,91
9	3,64	156,83	3,20	178,56	3,78	136,60	8,50	66,94
10	4,15	137,54	3,66	155,81	4,32	119,40	10,94	51,97
11	4,83	118,25	4,29	133,06	5,05	102,20	15,37	37,00
12	5,77	98,96	5,17	110,31	6,08	85,00	25,82	22,03
13	7,16	79,67	6,52	87,56	7,62	67,80	-	-
14	9,45	60,38	8,81	64,81	10,21	50,60	-	-
15	13,89	41,09	13,57	42,06	15,46	33,40	-	-
16	26,18	21,8	29,56	19,31	31,88	16,20	-	-

Окончание приложения 6

Пере-дача	Марка трактора							
	ХТЗ-150-05-09		ВТ-100Д		ВТ-150		Т-4А.01	
	V_T	i_T	V_T	i_T	V_T	i_T	V_T	i_T
1	4,26	70,99	3,60	65,55	3,80	67,48	2,22	109,70
2	4,69	64,55	3,93	60,05	4,15	61,72	2,43	100,37
3	5,20	58,15	4,33	54,56	4,58	56,02	2,67	91,09
4	5,84	51,75	4,81	49,07	5,10	50,32	2,98	81,81
5	6,67	45,35	5,42	43,58	5,75	44,62	3,36	72,53
6	7,76	38,95	6,20	38,09	6,59	38,92	3,85	63,25
7	9,29	32,55	7,25	32,60	7,72	33,22	4,51	53,97
8	11,57	26,15	8,71	27,11	9,32	27,52	5,45	44,69
9	15,31	19,75	10,92	21,62	11,75	21,82	6,88	35,41
10	-	-	14,64	16,13	15,91	16,12	9,32	26,13

Приложение 7

Основные технические характеристики тракторов

Показатели	Марка трактора			
	К-730М	К-735М	К-739М	К-742М
Марка двигателя	ТМЗ-8481.10-11	ТМЗ-8481.10	ТМЗ-8481.10-02	ТМЗ-8481.10-04
Тяговый класс	5	6	7	8
Ne_H, кВт	220	257	287	309
n_H, мин$^{-1}$	1900	1900	1900	1900
ge_H, г/кВтч	219	212	212	212
$G_{тр}$, кг	14950	14650	16050	16650
Габариты	7,35×3,10	7,35×3,10	7,35×3,10	7,35×3,10
r_0, м	0,483	0,483	0,483	0,483
h, м	0,497	0,497	0,497	0,497

Продолжение приложения 7

Показатели	Марка трактора			
	К-744 Р	К-744 Р1	К-744 Р2	К-744 Р3
Марка двигателя	ЯМЗ-238НД4	ЯМЗ-238НД5	ТМЗ-8481.10	ТМЗ-8481.10-02
Тяговый класс	5	5	5	8
Ne_H, кВт	184	220	257	287
n_H, мин$^{-1}$	1900	1900	1900	1900
ge_H, г/кВтч	220	220	220	231
$G_{тр}$, кг	15060	15060	15680	17500
Габариты	7,25×2,85	7,25×2,85	7,25×2,83	7,35×4,65
r_0, м	0,332	0,332	0,332	0,332
h, м	0,720	0,720	0,720	0,720

Продолжение приложения 7

Показатели	Марка трактора			
	К-525	К-701	МТЗ-82.1	МТЗ-900
Марка двигателя	ЯМЗ-53645	ЯМЗ-238	Д-243	Д-243
Тяговый класс	5	5	1,4	1,4
Ne_H, кВт	184	220	60	60
n_H, мин$^{-1}$	2100	1900	2200	2200
ge_H, г/кВтч	235	225	220	220
$G_{тр}$, кг	10 500	12500	3900	3720
Габариты	7,10×2,49	7,40×2,88	3,93×1,97	3,83×1,97
r_0, м	0,330	0,332	0,483	0,483
h, м	0,465	0,610	0,305	0,305

Продолжение приложения 7

Показатели	Марка трактора			
	МТЗ-1221	МТЗ-1523	ЛТЗ-155	ХТЗ-17421
Марка двигателя	Д-260.2	Д-260.1 TURBO	Д-442-47	СМД-31Т
Тяговый класс	2	2	2	3
Ne_H, кВт	96	114	88	147
n_H, мин$^{-1}$	2100	2100	1850	2100
ge_H, г/кВтч	228	228	220	241
$G_{тр}$, кг	4640	5000	5600	9040
Габариты	4,6×2,25	4,75×2,25	4,67×2,35	6,58×2,46
r_0, м	0,483	0,483	0,483	0,305
h, м	0,305	0,305	0,330	0,530

Окончание приложения 7

Показатели	Марка трактора			
	ХТЗ-150-05-09	ВТ-100Д	ВТ-150	Т-4А.01
Марка двигателя	ЯМЗ-236Д3	Д-442-24	Д-442-24ВИ	А-01МСИ
Тяговый класс	3	3	3	4
Ne_H, кВт	128,7	88	110	95,6
n_H, мин$^{-1}$	2100	1750	1900	1700
ge_H, г/кВтч	220	220	220	220
$G_{тр}$, кг	8150	7580	7720	8870
Габариты	5,00×1,88	5,33×1,85	5,40×1,85	4,65×1,95
r_0, м	0,382	0,358	0,358	0,380
h, м	-	-	-	-

Приложение 8

Коэффициенты сцепления трактора с почвой (μ)
и сопротивления перекатыванию (качению) тракторов (f)

Условия движения	Трактор			
	Колёсный		Гусеничный	
	μ	f	μ	f
Шоссейная дорога	0,6…0,9	0,014…0,04	1,0	0,01
Сухая укатанная грунтовая дорога	0,6…0,8	0,03…0,05	0,9…1,0	0,05…0,07
Грунтовая неровная дорога	-	0,05…0,10	-	-
Снежная укатанная дорога	0,3	0,03…0,05	0,6	0,06…0,07
Целина, залежь, плотная дернина, сильно уплотненная стерня	0,8…0,9	0,03…0,06	1,0	0,05…0,07
Стерня нормальной влажности, поле из-под кукурузы	0,7…0,8	0,06…0,08	0,9…1,0	0,07…0,09
Влажная стерня	0,6…0,7	0,08…0,10	0,9	0,08…0,11
Слежавшаяся пашня	0,5…0,6	0,10…0,12	0,7	0,07…0,08
Подготовленное под посев поле, чистый пар	0,5…0,7	0,16…0,20	0,6…0,7	0,10…0,12
Свежевспаханное поле	0,4…0,5	0,18…0,22	0,6	0,12…0,14
Влажный луг	0,5…0,7	0,08…0,10	0,6…0,8	0,09…0,11
Песок влажный	0,4	0,08…0,10	0,5	-
Песок сухой	0,3	0,15…0,20	0,4	0,10…0,12
Глубокая грязь	0,1	-	0,3…0,5	0,10…0,25
Глубокий снег	-	0,24…0,28	-	0,09…0,12

Приложение 9

Буксование ведущего аппарата трактора в % на различных передачах
в зависимости агрофона

Агрофон	Гусеничные тракторы				Колёсные тракторы			
	Передачи							
	1	2	3	4	1	2	3	4
Культивированное поле	5,0…6,0	3,5…4,5	2,0…3,0	1,5…2,0	25,0…30,0	18,0… 20,0	13,0… 15,0	10,0… 12,0
Стерня	3,0…4,0	2,0…3,0	1,2…1,6	0,5…1,0	18,0…22,0	12,0… 15,0	9,0…11,0	6,0…8,0
Залежь	2,0…3,0	1,5…2,0	1,0..1,2	0,6…0,8	14,0…16,0	10,0… 12,0	6,0…8,0	3,0…5,0

Удельные сопротивления сельскохозяйственных машин

Наименование операции	Сельскохозяйственная машина	Удельное сопротивление k, Н/м
Боронование	Борона зубовая тяжёлая	400…700
	Борона зубовая средняя	300…600
	Борона сетчатая и шлейф борона	450…650
	Борона пружинная и лапчатая	1000…1800
	Борона дисковая	1600…2200
	Борона игольчатая	450…800
Сплошная культивация	Культиватор штанговый	1600…2600
	Культиватор паровой (6-8 см)	1600…3000
	Культиватор паровой (10-12 см)	1200…1600
Глубокое рыхление	Культиватор-глубокорыхлитель	8000…13000
Обработка плоскорезами	Культиватор-плоскорез	4000…6000
Лущение стерни	Лущильник дисковый (8-10 см)	1200…2600
	Лущильник лемешный (10-14 см)	2500…6000
	Лущильник лемешный (14-18 см)	6000…10000
Рядовой посев зерновых культур	Сеялка дисковая	1100…1600
	Сеялка узкорядная	1500…2500
	Сеялка-лущильник	1200…2800
	Сеялка зернопрессовая	1200…1800
Посев кукурузы	Сеялка кукурузная	1000..1400
Прикатывание	Каток гладкий водоналивной	550…1200
	Каток кольчато-шпоровый	600…1200
Междурядная обработка	Культиватор со стрельчатыми лапами и бритвами	1200…1800
Рыхление междурядий	Культиватор-растениепитатель	1300…1600
Кошение трав	Косилка с приводом от ВОМ	700…1100
	Косилка от ходовых колёс	900…1400
	Косилка-измельчитель	800…1300
Сгребание трав	Грабли поперечные	500…750
	Грабли-валкообразователи	700..900
Кошение зерновых культур	Жатка рядковая прицепная	1200…1500
Уборка кукурузы	Кукурузоуборочный комбайн	1500…1700
	Силосоуборочный комбайн	1200…1600
Уборка корнеплодов	Свеклоподъёмник	3000…4000
	Копатель корнеплодов	6500…7500
Дискование пашни	Дисковая борона	4000…8000
Разбрасывание минеральных удобрений	Туковая сеялка	300…400
Опрыскивание	Опрыскиватель навесной	150…200
	Гербицидно-аммиачная машина	100..2000
Подбор сена	Пресс-подборщик	400…500
	Подборщик-копнитель	400…500
	Подборщик-стогообразователь	1200…1400

Машины для механизации процессов в растениеводстве

Наименование машины	Марка	Ширина захвата, м	Масса, кг
1	*2*	*3*	*4*
Плуги	ПП-9-40	До 3,7	2160
	ПП-9-35	3,15	3650
	ПРУН-8-45	3,60	1974
	ПЛП-6-35	2,1	1230
	ПЛ-5-40	1,75-2,25	1630
	ПНУ-8-40	3,2	2400
	ПЛН-5-40	2,0	905
	ПН-3-35	1,05	445
Плоскорезы-глубокорыхлители	ПГ-3С	3,1	950
	ПГ-2С	2,1	606
	ПГН-5	5,25	1650
	ПГН-3	3,18	1277
Культиваторы	КПШ-20	20	3500
	КПШ-9	9,5	2800
	КШУ-12	8	2950
	КШУ-4	4	760
	КСТ-2,2	2,2	975
	КПЭ-3,8Г	3,91	830
	КПС-4	4	927
	КСО-4	4	1040
Культиваторы для междурядной обработки почвы	КРН-4,2Б	4,2	1190
	КРН-5,6Б	5,6	1530
	КРН-8,4	8,4	1597
Бороны	БДТ-10	10	4100
	БДТ-7А	7	4587
	БДТ-5,2	5,2	4150
	БДН-3,0	3,0	684
	БЗСС-1,0	0,98	37,8
	БЗТС-1,0	0,98	43,7
	БМШ-20	20	8600
	БМШ-15	15	6800
Катки	КВП-3,8	7,2-8,2	680
	ЗККШ-6	6,1	1950
	КЗК-10	10,0	4300
	ЗКВГ-1,4	4,0	790
Лущильники	ЛДГ-20	20	5430
	ЛДГ-15А	15	3150
	ЛДГ-10А	10	2480
	ЛДГ-5А	5,5-6,2	1200
	ППЛ-10-25	2,5	1265
	ППЛ-5-25	1,25	455

1	*2*	*3*	*4*
Машины для внесения минеральных удобрений	МВУ-5	7-17	2170
	РДУ-1,5	10-28	450
	РУН-0,5Н	8-24	200
	МТТ-4У	16-24	2550
	РЖТ-4М	11-12	2220
Машины для внесения органических удобрений	ПРТ-16М	7-8	5325
	ПРТ-10	6,5-7	3970
	ПРТ-7А	5-8	2850
	ПРТ-11	5-8	4070
	РОУ-6М	4-8	2170
	РУН-15Б	35,0	1750
Опрыскиватели	ОП-2000	16-24	1020
	ОП-22	22,6	850
	ОМП-2001	18	1200
Снегопах-валкообразователь	СВУ-2,6А	2,6	850
Сеялка зернотуковая	СЗ-3,6А	3,6	1380
Сеялка зернотуковая прессовая	СЗП-3,6А	3,6	1839
Сеялка зернотукотравяная	СЗТ-3,6А	3,6	2370
Сеялки-культиваторы зернотуковые	СЗС-12 СРС-6	12,3 6,15	8300 4334
Сеялка кукурузная пневматическая	СУПН-8А	5,6	1215

Приложение 12

Характеристика сцепок

Марка сцепки	Фронт сцепки, м	Наибольшая ширина захвата, м	Масса сцепки, Н.	Назначение
С-11У (колеса металлические)	14,4	11,0	7000	Бороны БЗСС-1,0, БЗТС-1,0; Катки: ЗККШ-6А, ЗКВГ-1,4;
СГ-21Б (колеса пневматические)	18,0	21,6	10300	
СП-11А (колеса пневматические)	7,0	10,8	11400	Культиваторы: КПС-4, КПЭ и т. д.; Сеялки: СЗ-3,6, СЗП-3,6 и все их модификации Бороны: БИГ-3, БЗСС-1,0, БЗТС-1,0; Катки: ЗККШ-6А, ЗКВГ-1,4.
СП-16А (колеса пневматические)	13,5	16,8	23600	

Приложение 13

Удельные сопротивления плугов

Тип почвы	Удельное сопротивление k_0, Н/см^2
Легкие	2,0…3,5
Средние	3,5….5,5
Тяжелые	5,5…8,0
Весьма тяжелые	свыше 8,00

Приложение 14

Основные данные тормозных испытаний тракторных двигателей

Показатель	Значение показателей при различной частоте вращения коленчатого вала						
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
К-735М (ТМЗ-84181.10)							
n, мин$^{-1}$	2100	2000	1950	1900	1500	1300	1100
Ne, кВт	0	128	193	257	246	211	171
Mg, Н·м	0	655	983	1310	1530	1570	1449
Q, кг/ч	17	36	45	55	50	42	31
ge, г/кВт·ч	∞	242	220	212	204	203	208
К-739М (ТМЗ-8481.10-02)							
n, мин$^{-1}$	2100	2000	1950	1900	1500	1300	1100
Ne, кВт	0	144	214	287	282	256	183
Mg, Н·м	0	720	1080	1440	1810	1864	1588
Q, кг/ч	18	40	50	60,8	58	53	38
ge, г/кВт·ч	∞	244	220	212	194	196	214
К-742М (ТМЗ-8481.10-04)							
n, мин$^{-1}$	2100	2000	1950	1900	1500	1300	1100
Ne, кВт	0	154	232	309	303	265	189
Mg, Н·м	0	735	1102	1468	1910	1960	1640
Q, кг/ч	19,5	42	54	65	62	52	40
ge, г/кВт·ч	∞	242	220	212	204	203	207
К-730М (ТМЗ-8481.10-11)							
n, мин$^{-1}$	2100	2000	1950	1900	1500	1300	1100
Ne, кВт	0	111	116	220,6	212	182	139
Mg, Н·м	0	460	676	1105	1352	1373	1208
Q, кг/ч	14,6	31	40	48	44	38	30
ge, г/кВт·ч	∞	242	220	212	205	204	207
К-744Р (ЯМЗ-238НД4)							
n, мин$^{-1}$	2100	2000	1940	1900	1760	1600	1420
Ne, кВт	0	96,33	154,13	184	182,95	177,76	165
Mg, Н·м	0	459,62	758,16	924,15	991,98	1060,2	1108
Q, кг/ч	14,91	29,82	37,54	40,48	41	40,22	38,71
ge, г/кВт·ч	∞	309,65	243,55	220	224,15	226,25	234,65

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
К-744Р1 (ЯМЗ-238НД5)							
n, мин$^{-1}$	2100	2000	1940	1900	1760	1600	1420
Ne, кВт	0	117,48	187,97	220	216,9	207,82	190
Mg, Н·м	0	560,55	924,63	1104,9	1176,0	1239,5	1280
Q, кг/ч	18,19	36,37	45,8	48,4	46,6	47	44,6
ge, г/кВт·ч	∞	309,65	243,55	220	224,15	226,25	234,65
К-744Р2 (ТМЗ-8481.10)							
n, мин$^{-1}$	2100	2000	1940	1900	1760	1600	1420
Ne, кВт	0	125,99	201,59	235	226	211,6	190
Mg, Н·м	0	601,15	991,62	1180,3	1225,4	1262	1280
Q, кг/ч	19,5	39,01	49,09	51,7	50,66	47,87	44,58
ge, г/кВт·ч	∞	309,65	243,55	220	224,15	226,25	234,65
К-701 (ЯМЗ-240)							
n, мин$^{-1}$	2100	2000	1940	1900	1760	1600	1420
Ne, кВт	0	117,48	187,97	220	213,55	197,04	165,51
Mg, Н·м	0	560,55	924,63	1105	1157,9	1175,2	1112,3
Q, кг/ч	18,19	36,38	45,73	48,4	47,92	44,59	38,84
ge, г/кВт·ч	∞	309,65	243,3	220	224,4	226,3	234,65
К-701 (ЯМЗ-240)							
n, мин$^{-1}$	2100	2000	1940	1900	1760	1600	1420
Ne, кВт	0	117,48	187,97	220	213,55	197,04	165,51
Mg, Н·м	0	560,55	924,63	1105	1157,9	1175,2	1112,3
Q, кг/ч	18,19	36,38	45,73	48,4	47,92	44,59	38,84
ge, г/кВт·ч	∞	309,65	243,3	220	224,4	226,3	234,65
К-525 (ЯМЗ-53645)							
n, мин$^{-1}$	2350	2300	2200	2100	1800	1400	1000
Ne, кВт	0	61	122	184	181	161	80
Mg, Н·м	0	275	548	822	1010	1100	755
Q, кг/ч	15,6	25	36	46	44	40	27
ge, г/кВт·ч	∞	315	264	235	201	195	213
МТЗ-82.1 (Д-243)							
n, мин$^{-1}$	2400	2350	2300	2200	1900	1700	1420
Ne, кВт	0	16,1	32,23	60	55	50,5	43,1
Mg, Н·м	0	65,4	133,7	260,26	276,2	283,5	290
Q, кг/ч	3,6	7,25	10	13,2	12,2	11,35	10
ge, г/кВт·ч	∞	478,1	328,55	220	231,4	236,6	240,2
МТЗ-952 (Д-245.5)							
n, мин$^{-1}$	2000	1940	1900	1800	1600	1400	1260
Ne, кВт	0	20	33,47	65	59,5	53,1	48,6
Mg, Н·м	0	98,8	168,12	344,6	355	362,1	368
Q, кг/ч	5,78	11,55	12,8	14,1	13,3	12	11,38
ge, г/кВт·ч	∞	575,25	382,4	217	223,85	226,1	234,25

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
МТЗ-1025 (Д-245)							
n, мин$^{-1}$	2000	1940	1900	1800	1600	1400	1260
Ne, кВт	0	23,99	39,98	77	70,59	63	57
Mg, Н·м	0	117,99	200,8	408,2	421	429,4	431
Q, кг/ч	5,3	10,6	13,57	16,94	15,77	14,23	13,14
ge, г/кВт·ч	∞	443,5	339,45	220	223,45	225,95	230,65
МТЗ-1221 (Д-260.2 Турбо)							
n, мин$^{-1}$	2300	2250	2200	2100	1900	1600	1340
Ne, кВт	0	25	50	96	94,5	82,5	70,2
Mg, Н·м	0	106	216,9	436,2	474,7	491,9	500
Q, кг/ч	5,625	11,25	15,8	21,9	21,65	19,23	16,85
ge, г/кВт·ч	∞	450	316,3	228	229,15	233,2	240
МТЗ-1523 (Д-260.1 Турбо)							
n, мин$^{-1}$	2300	2250	2200	2100	1900	1600	1340
Ne, кВт	0	29,4	58,81	114	109,69	98,1	84,2
Mg, Н·м	0	124,7	255,1	518	550,9	585	600
Q, кг/ч	6,62	13,23	18,6	25,99	25,13	22,87	20,46
ge, г/кВт·ч	∞	450	316,3	228	229,15	233,2	243,05
ЛТЗ-155 (Д-424-47)							
n, мин$^{-1}$	2060	2000	1900	1850	1700	1500	1320
Ne, кВт	0	26,4	70,4	88	82,944	75,384	68
Mg, Н·м	0	125,97	353,59	453,9	465,6	479,59	491,6
Q, кг/ч	5,3	10,6	16,79	19,36	18,54	17,05	15,79
ge, г/кВт·ч	∞	403,2	238,45	220	223,55	226,15	232,25
ХТЗ-17421 (СМД-31Т)							
n, мин$^{-1}$	2300	2250	2200	2100	1900	1600	1340
Ne, кВт	0	39,3	78,59	147	136,07	116,97	98,3
Mg, Н·м	0	166,68	340,9	668	683,4	697,65	700
Q, кг/ч	8,84	17,69	24,6	35,4	32,57	28,38	25,13
ge, г/кВт·ч	∞	450	313,25	241	239,35	242,6	255,6
ХТЗ-150-05-09 (ЯМЗ-236Д)							
n, мин$^{-1}$	2300	2250	2200	2100	1900	1600	1340
Ne, кВт	0	35,07	70	128,7	126,1	117,5	100,5
Mg, Н·м	0	148,74	303,64	584,8	633,35	700,8	716
Q, кг/ч	7,89	15,78	21,93	28,3	28,16	26,47	23,6
ge, г/кВт·ч	∞	450	313,25	220	223,3	225,3	235,05
ВТ-100Д (Д-442-24)							
n, мин$^{-1}$	1950	1900	1860	1750	1600	1400	1220
Ne, кВт	0	26,4	44	88	84	77	70
Mg, Н·м	0	132,6	225,7	479,9	501,1	525,5	547,5
Q, кг/ч	5,3	10,6	13,5	19,4	18,8	17,4	16,3
ge, г/кВт·ч	∞	403,2	306,25	220	223,55	226,15	232,25

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
ВТ-150 (Д-442-24ВИ)							
n, мин$^{-1}$	2100	2060	2000	1900	1700	1500	1300
Ne, кВт	0	22,53	56,32	110	103,87	96,12	96,7
Mg, Н·м	0	104,4	268,7	552,5	583	611,5	635,7
Q, кг/ч	5,86	11,7	19,12	24,2	23,2	21,7	19,97
ge, г/кВт·ч	∞	520,3	339,45	220	223,45	225,95	230,65
Т-4А.01 (А-01МСИ)							
n, мин$^{-1}$	1900	1860	1800	1700	1500	1300	1100
Ne, кВт	0	20	50,94	95,6	94,192	84,928	74,1
Mg, Н·м	0	102,61	270	536,7	599,22	623,4	642,8
Q, кг/ч	5,99	11,98	16,74	21	21,8	20,09	17,8
ge, г/кВт·ч	∞	598,9	328,55	220	231,4	236,6	240,2
ДТ-75М (А-41)							
n, мин$^{-1}$	1870	1830	1785	1755	1600	1450	1330
Ne, кВт	31,17	22,08	48,21	66,24	65,43	62,78	58,88
Mg, Н·м	0	115,2	264,9	361,0	390,44	413,9	422,8
Q, кг/ч	4,8	8,8	14,1	16,5	15,3	14,3	13,4
ge, г/кВт·ч	∞	399	292	249	234	228	228

Приложение 15

Значение коэффициента ΔC, характеризующего темп прироста сопротивления при повышении скорости движения на 1 км/ч

Работы	Машина-орудие	Прирост тягового сопротивления, %	
		при скорости от 5 до 9 км/ч	при скорости от 9 до 15 км/ч
Вспашка	Плуги: - серийные - скоростные	 4…5 2…4	 5…8 4…5
Лущение, дискование	Дисковые лущильники, дисковые бороны	2…3	3…4
Сплошная культивация	Культиваторы: - серийные - скоростные	 4…5 2…4	 5…8 4…6
Боронование	Бороны: - зубовые - скоростные	 4…5 2…4	 5…8 3…4
Посев	Сеялки - серийные - скоростные	 1,5…3 1…2	 3…4 2…3
Уборка силосных	Силосные комбайны	1…2	2…4
Кошение колосовых	Жатки - рядковые - скоростные	 1,5…3 0,8…1,4	 3…5 1,4…2

Приложение 16

Кинематические характеристики тракторов
и сельскохозяйственных машин

Наименование машин	Марка	Кинематическая длина, м	Марка	Кинематическая длина, м
Тракторы	К-701	3,20	К-744 Р	3,5
	К-744 Р1, Р2, Р3	3,7	К-739М	3,2
	К-735М	3,2	К-742М	3,2
	К-730М	3,2	К-525	3,2
	МТЗ-552	1,95	МТЗ-592	1,95
	МТЗ-900	1,95	МТЗ-952	1,95
	МТЗ-1025	2,1	МТЗ-1221	2,57
	Т-25А	0,85	МТЗ-1523	2,35
	Т-45А	1,1	ЛТЗ-55	1,2
	ЛТЗ-155	2,6	ХТЗ-17421	3,0
	ХТЗ-150К	2,8	ХТЗ-150-05	2,5
	ХТЗ-150-03	2,5	ВТ-100Д	2,6
	ДТ-75Н	2,2	Т-70СМ	1,7
	ВТ-150	2,7	Т-4А-01	2,3
Плуги	ПТК-9-35	3,600	ПЛП-6-35	2,570
	ПЛН-5-35	2,050	ПЛ-5-35	2,500
	ПЛН-4-35	1,780	ПН-4-40	1,980
	ПЛН-3-35	1,420		
Глубоко-рыхлители	КПГ-250	1,76	КПГ-2-150	1,73
	КПГ-2,2	4,35		
Лущильники дисковые	ЛДГ-20	21,67	ЛДГ-15	10,42
	ЛДГ-10	7,40	ЛДГ-5	4,30
Лущильники лемешные	ППЛ-10-25	6,40	ППЛ-5-25	2,88
Бороны	БДН-3,0	1,90	БДН-10	11,8
	БДТ-7,0	4,38		
	БЗТС-1,0	1,35	БЗСС-1,0	1,35
	БИГ-3А	3,50		
Катки	ЗККШ-6А	7,80	СКГ-2,0	3,30
Культиваторы	КПС-4	2,67	КПЭ-3,8А	3,92
	КПШ-9	7,30	КПШ-5	1,93
	КПУ-400	1,55		
	КРН-5,6	2,10	КРН-4,2	1,67
	КПГ-2,2	4,35	КПГ-250	1,76
	КПГ-2-150	1,73		
Сцепки	СП-16	5,0	СП-11У	4,5
	СП-11	7,54	СГ-21	5,6
	СН-75	3,3		

Приложение 17

Радиусы поворотов тракторов

Марка трактора	Радиус поворота, м	Марка трактора	Радиус поворота, м
К-701	7,2	МТЗ-1523	5,5
К-744 Р	7,2	МТЗ-82.1	4,2
К-744 Р1	7,9	Т-402.01	1,7
К-744 Р2	7,9	ДТ-75Н	2,5
К-744 Р3	7,8	Т-30-69	3,7
К-735М	7,9	Т-45А	4,5
К-739М	7,9	ЛТЗ-55	2,8
К-742М	7,9	ЛТЗ-155	4,5
К-730М	7,9	ХТЗ-150К	6,5
К-525	6,5	ХТЗ-17421	6,6
МТЗ-552	4,1	ХТЗ-150-03	2,35
МТЗ-592	4,1	ХТЗ-150-05	2,35
МТЗ-900	4,1	ВТ-100Д	3,2
МТЗ-952	4,1	ВТ-150	3,2
МТЗ-1025	4,1	Т-70СМ	2,5
МТЗ-1221	5,3	Т-4А-01	1,7

Приложение 18

Примерные затраты времени
на проведение ежесменных технических обслуживаний

Наименование машины	Марка машины	Время, ч
1	*2*	*3*
Тракторы	К-701	0,78
	К-744 Р	0,81
	К-744 Р2	0,81
	К-744 Р3	0,83
	К-735М	0,27
	К-739М	0,27
	К-742М	0,27
	К-730М	0,27
	К-525	0,25
	МТЗ-552	0,76
	МТЗ-592	0,76
	МТЗ-900	0,78
	МТЗ-952	0,78
	МТЗ-1025	0,82
	МТЗ-1221	0,83
	МТЗ-1523	0,87
	МТЗ-82.1	0,57
	Т-25А	0,38
	Т-30-69	0,42
	Т-45А	0,47

1	*2*	*3*
	ЛТЗ-55	0,65
	ЛТЗ-155	0,78
	Т-151К	0,93
	ХТЗ-150К	0,93
	ХТЗ-17421	0,9
	ХТЗ-150-03	0,69
	ХТЗ-150-05	0,69
	ДТ-75Н	0,67
	ВТ-100Д	0,72
	ВТ-150	0,75
	Т-4А-01	0,76
	Т-402.01	0,76
Плуги	ПН-3-40, ПНЯ-2-50	0,12
	ПН-4-35	0,12
	ПЛН-5-35	0,12
	ППН-50, ПВН-3-35, ПТК-9-35	0,12
Глубокорыхлитель навесной	РН-80Б	0,20
Лущильник дисковый	ЛДГ-10, ЛДГ-15	0,20
Лущильник лемешный	ППЛ-5-25	0,10
Борона	БДН-3	0,10
	БДТ-3	0,10
	БДСТ-2,5	0,10
	БИГ-3	0,10
Каток кольчато-шпоровый	ЗККШ-6, ЗКК-6	0,10
Культиватор	КПС-4, 4КУ-4	0,25
	КРН-4,2, КФ-5,4	0,50
	КРН-28А, КРН-,8МО	0,10
	КРН-5,6	0,36
	КРШ-8,1	-
	КРХ-5,4	0,22
Плоскорез-глубокорыхлитель	КПГ-250	0,10
Сеялка зерновая	СЗ-3,6, СЗУ-3,6	0,15
	СЗА-3,6, СЗТ-3,6, СЗС-2,1	0,15
	СЗП-24	0,40
Сеялка свекловичная	ССТ-12А	0,25
	ССТ-18А	0,25
Сеялка кукурузная	СКНК-8	0,40
	СБК-4	0,25
	СКТН-6А	0,25
Сеялка универсальная	СПЧ-6М	0,25
Картофелесажалка	СКС-4, СН-4Б	-
Опрыскиватель	ОП-1600, ОВТ-1	0,30
	ПОЧ, ОЗГ-120	0,30
	ОВХ-14	0,30

Окончание приложения 18

1	*2*	*3*
Косилка тракторная	-	0,10
Косилка-измельчитель	КИР-1,5	0,20
Жатка	ЖВН-6, ЖНС-6-12	0,20
Жатка рядковая	-	0,50
Грабли тракторные	-	0,13
Волокуша	-	0,06
Пресс-подборщик	ППВ-1,6, ПСБ-1,6	0,65
Подборщик-копнитель	ПКС-2М	0,32
Картофелекопатель	КТН-2Б	0,30
	Z-609/02	0,20
Машина для внесения органических удобрений	РОУ-5	0,55
	ПРТ-10	0,30
	ПРТ-16	0,38
Машина для внесения жидких органических удобрений	РЖТ-4	0,23
	РЖТ-8	0,30
	РЖТ-16	0,30
Картофелекопатель	УКВ-2	0,40
	КСТ-1,4	0,30

Приложение 19

Примерная продолжительность остановки
для технологического обслуживания

Наименование операции	Продолжительность остановки, ч
Вспашка	0,01…0,2
Боронование	0,04…0,3
Сплошная культивация	0,03…0,4
Междурядная обработка	0,03…0,5
Лущение	0,02…0,03
Кошение зерновых в валки	0,04…0,15
Подбор и обмолот, прямое комбайнирование	0,08…0,11
Уборка силосных культур	0,02..0,25

Приложение 20

Кинематические характеристики посевных машин
и разбрасывателей удобрений

Наименование машин	Марка	Кинематическая длина, м	Вместимость бункера, $дм^3$
1	*2*	*3*	*4*
Сеялки	СЗ-3,6	3,50	690
	СЗП-3,6	3,98	690
	СЗТ-3,6	3,70	690
	СЗП-12	9,50	2223
	СЗП-8	7,40	1482
	СЗС-2,1	3,90	540

Окончание приложения 20

1	2	3	4
	СЗС-6	4,50	825
	СПЧ-6	5,20	240
	СУПН-8	5,70	260
	СКП-6	4,50	192
Разбрасыватели минеральных удобрений	РТТ-4,2	3,90	-
	1-РМГ-4	5,25	-
	РУМ-8	5,99	-
	РМС-6	5,40	-
	РУМ-5	5,50	-
Разбрасыватели органических удобрений	ПРТ-16	5,95	-

Приложение 21

Значения отчислений на ремонт и техническое обслуживание, амортизационного ресурса техники

Наименование техники	Значение отчислений на ремонт и техническое обслуживание от цены техники на 100 ч работы, %	Амортизационный ресурс, ч
1	2	3
Тракторы		
- колесные кл. 5,0 т	0,92	10120
- гусеничные кл. 4,0 т	1,14	8096
- колесные кл. 3 т	1,14	10120
- гусеничные кл. 3 т	1,26	9108
- универсально-пропашные кл. 1,4; 2,0	0,98	11132
Плуги отвальные общего назначения	9,30	1720
Бороны		
- зубовые	22,22	450
- дисковые	3,89	1260
Лущильники дисковые	5,83	840
Мотыги ротационные	7,69	455
Катки	4,17	960
Культиваторы		
- для сплошной обработки почвы	9,41	1190
- глубокорыхлители	11,03	1015
- плоскорезы	8,21	1365
- растениепитатели, окучники	4,62	1365
Сеялки		
- зерновые и травяные	7,78	819
- точного высева (свекловичные)	10,0	364
- кукурузные	6,67	480
- рисовые	14,17	960
- туковые	3,33	1680

1	*2*	*3*
Картофелесажалки	8,57	490
Комбинированные агрегаты для предпосевной обработки почвы с одновременным посевом зерновых	7,37	665
Комбинированные агрегаты для основной обработки почвы	10,53	665
Комбайны		
- зерноуборочные	2,43	2548
- картофелеуборочные	6,67	1260
- кукурузоуборочные	12,00	800
- силосоуборочные	8,00	1200
Жатки зерновые и зернобобовые	10,58	774
Косилки тракторные	4,38	1120
Грабли тракторные	5,74	732
Волокуши		
- тросовые	5,19	810
- толкающие	3,89	1080
Пресс-подборщики	5,83	720
Жатки рядковые	12,00	525
Косилки тракторные	4,67	750
Протравливатели семян	3,67	1500
Опрыскиватели по борьбе с вредителями и болезнями		
- полевых культур	9,17	600
- садов	4,40	1250
Универсальные опрыскиватели	3,44	1600
Машины для химической защиты	8,80	750
Машины для внесения удобрений		
- минеральных	16,00	375
- органических	4,00	1250
Зернопогрузчики	1,50	1400
Погрузчики универсальные	1,67	4200

Операционно-технологическая карта

Значение параметров	Схемы
1. Условия работы	Схема агрегата с указанием основных кинематических характеристик агрегата (центр агрегата, кинематическая длина трактора, машины, сцепки, агрегата, ширина захвата агрегата)
Площадь поля - га	
Длина, ширина поля - м	
Удельное спротивление - Н/ м	
Уклон - %	
2. Агротехнические требования	
Глубина обработки, подрезание сорняков,	
заделка растительных остатков, норма высева,	
норма внесения удобрений и тд	
3. Состав и подготовка агрегатов	
Марка энергомашины -	
Марка СХМ -	
Количество СХМ -	
Марка сцепки -	
Длина выезда агрегата - м	
Минимальный радиус поворота - м	
	Схема способа движения. (На схеме обозначить: ширину поворотной полосы, длину выезда агрегата, рабочую длину загона, ширину загона)
4. Поле и подготовка поля к работе	
Способ движения -	
Способ поворота -	
Ширина поворотной полосы - м	
Коэффициент рабочих ходов -	
Подготовка поля к работе	
5. Режим работы агрегата	
Скорость движения - км/ ч	
Передачи -	
Среднее время одного цикла - ч	
Производительность:	
- за цикл - га/ цикл	
- за час - га/ ч	
- за смену - га/ см	
Погектарный расход топлива - кг/ га	
Прямые эксплуатационные затраты - руб/ га	

	Показатели	Нормативы	Баллы	Способ замера, инструмент	Схема взятия проб
6. Контроль качества работы					Схема взятия проб
	Оценка в баллах: 8..9 - отлично 6..7 - хорошо 4..5 - удовлетворительно менее 4 - неудовлетворительно				

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Гордеев, А. С. Энергосбережение в сельском хозяйстве : учебное пособие / А. С. Гордеев, Д. Д. Огородников, И. В. Юдаев. – СПб. : Лань, 2014. – 400 с.

2. Зангиев, А. А. Практикум по эксплуатации машинно-тракторного парка / А. А. Зангиев, А. Н. Скороходов. – 6-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2023. – 464 с.

3. Скороходов, А.Н. Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка : учебник / А.Г. Левшин; А.Н. Скороходов. – Москва : Колос-с, 2021. – 481 с. : ил.

4. Курочкин, И. М. Производственно-техническая эксплуатация МТП : учебное пособие / И. М. Курочкин, Д. В. Доровских. – Тамбов : ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 200 с.

5. Методические рекомендации по оформлению курсовых работ и дипломных проектов для агроинженерных специальностей / сост. С. С. Петрова, Г. С. Бухвалов, С. В. Машков, А. П. Быченин, С. В. Денисов. – Самара : РИЦ СГСХА, 2010. – 38 с.

6. Плаксин, А. М. Энергетика мобильных агрегатов в растениеводстве : учебное пособие / А. М. Плаксин. – Челябинск : ЧГАУ, 2005. – 204 с.

7. Сборник нормативных материалов на работы, выполняемые машинно-технологическими станциями (МТС). – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2001. – 190 с.

8. СМК 04-30-2022 Положение о курсовом проектировании. – Режим доступа: http:// https://ssaa.ru/svedeniya/document/polog/CMK_04-30-2022.pdf

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

1. Содержание, порядок составления и оформление курсовой работы 4

2. Анализ тяговых свойств трактора при выполнении технологической операции 6

3. Комплектование машинно-тракторного агрегата 10

4. Анализ и расчет режимов работы двигателя трактора 13

5. Разработка операционно-технологической карты 17

6. Подготовка к защите курсовой работы и критерии выставления оценки . 23

Приложения 26

Рекомендуемая литература 50

Учебное издание

Сазонов Дмитрий Сергеевич,
Ерзамаев Максим Павлович,
Милюткин Владимир Александрович

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ МАШИНОИСПОЛЬЗОВАНИЯ В АПК

Методические указания
для выполнения курсовой работы

Подписано в печать 18.03.2023. Формат 60×84/16
Усл. печ. л. 2,96; печ. л. 3,19.
Тираж 50. Заказ № 117.
Отпечатано с готового оригинал-макета
Издательско-библиотечный центр Самарского ГАУ
446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2
Тел.: 8 939 754 04 86 доб. 608
E-mail: ssaariz@mail.ru