

630

И - 33

# Известия

ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
"САМАРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ"

№3/2007



Современные технологии и средства  
механизации растениеводства

Эффективность и эксплуатационная  
надежность сельскохозяйственной техники

Машиноиспользования  
в специализированных технологиях АПК

УДК 631.3  
И-33

Учредители:  
Министерство  
сельского хозяйства  
Российской Федерации  
ФГОУ ВПО СГСХА

# Известия

ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Самарская государственная сельскохозяйственная  
академия»

Выпуск №3/2007

ISBN 978-5-88575-180-3

## Выпуск №3

**Современные технологии и  
средства механизации  
растениеводства**

**Эффективность и  
эксплуатационная  
надежность  
сельскохозяйственной  
техники**

**Машиноиспользования в  
специализированных  
технологиях АПК**

Редакция  
научного журнала:

*Петрова С.С.*  
ответственный редактор

*Панкратова О.Ю.*  
технический редактор

*Краснова О.В.*  
корректор

**АДРЕС РЕДАКЦИИ:** 446442,  
Самарская обл.,  
пос. Усть-Кинельский,  
ул. Учебная, 2

**Тел.:** (84663) 46-2-44, 46-2-47

**Факс:** 46-6-70

**E-mail:** [ssaariz@mail.ru](mailto:ssaariz@mail.ru)

**ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС**  
в каталоге «Почта России» – **32439**

Журнал зарегистрирован в Поволжском  
Управлении регистрации и лицензионной  
работы в сфере массовых коммуникаций  
Федеральной службы по надзору за  
соблюдением законодательства в сфере  
массовых коммуникаций и охране культурного  
наследия 29 ноября 2006 г.  
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС7 – 4086

*Милюткин В.А., доктор технических наук, профессор*  
Главный научный редактор, председатель  
редакционно-издательского совета

Зам. главного научного редактора:

*Баймишев Х.Б., доктор биологических наук, профессор*  
*Петров А.М., кандидат технических наук, профессор*

Редакционно-издательский совет

*Васин В.Г., доктор сельскохозяйственных наук, профессор*  
*Казаков Г.И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор*  
*Каплин В.Г., доктор биологических наук, профессор*  
*Дулов М.И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор*  
*Ухтверов М.П., доктор сельскохозяйственных наук, профессор*  
*Карамеев С.В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор*  
*Хакимов И.Н., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент*  
*Ленивцев Г.А., кандидат технических наук, профессор*  
*Гниломедов В.Г., кандидат технических наук, профессор*  
*Крючин Н.П., доктор технических наук, профессор*  
*Руденко Н.Р., доктор экономических наук, профессор*  
*Пенкин А.А., кандидат экономических наук, профессор*  
*Сычева Г.В., кандидат исторических наук, доцент*  
*Романов Д.В., кандидат педагогических наук, доцент*

УДК 631.3

© ФГОУ ВПО СГСХА, 2007



# **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА**

## **ИЗМЕНЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВЫ**

УДК 631.3.05

Милюткин В.А. д.т.н., профессор; Канаев М.А. аспирант

### **АНАЛИЗ СПОСОБОВ РЕАЛИЗАЦИИ ТОЧНОГО (КООРДИНАТНОГО) ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

*Рассмотрены способы реализации точного (координатного) земледелия, и выделены основные проблемы, препятствующие повсеместному внедрению.*

*The article presents ways of precision agriculture realization are the main problems preventing its developing are revealed.*

На сегодняшний день в мире чётко выделились актуальные проблемы современного агро-промышленного комплекса:

- 1) снижение затрат на производство продукции;
- 2) снижение степени воздействия на окружающую среду;
- 3) повышение качества производимой продукции.

Большинство из поставленных задач, возможно, решить с помощью нового направления в науке – точного (координатного) сельского хозяйства. Это направление включает в себя множество элементов (табл. 1).

Впервые вопрос о переходе к новому точному (координатному) земледелию был поднят в 1980 годах в США, вследствие постоянно возрастающей угрозы загрязнения окружающей среды вносимыми удобрениями и пестицидами. За последние 15 лет данное направление получило широкое распространение благодаря стремительно развивающимся информационным технологиям. Это направление усиленно разрабатывается: каждые два года проводятся международные научные конференции, появляются периодические издания, посвящённые проблемам точного сельского хозяйства, в ряде университетов вводится специализация по этому направлению. На сегодняшний день в США десятки тысяч комбайнов оборудованы теми или иными устройствами для реализации точного земледелия, в основном они применяются при возделывании маиса и сои. В данном анализе мы рассматриваем технические проблемы реализации точного (координатного) земледелия.

Словосочетание “точное (координатное) земледелие” в большинстве случаев трактуется как “точное выполнение технологических процессов для получения максимального урожая, равномерно полученного на всём поле, при рациональном расходе затрачиваемых средств на выращивание

данной сельскохозяйственной культуры”. Предполагается что в будущем (по мере развития науки и информационных технологий) в это понятие войдут новые элементы.

Таблица 1

Основные направления исследований (координатного) сельского хозяйства

Область исследования	Предмет исследования	Исследуемые объекты
Сельскохозяйственное направление	Агрономия	Растениеводство, почва, агроинженерия, точное земледелие
	Лесная промышленность	Удалённое зондирование состояния лесов, информационный менеджмент лесных ресурсов, управление лесными ресурсами
	Животноводство	Разведение скота, луговодство
	Рыбоводство	Аквакультура, управление водными ресурсами
IT технологии	Электроника и информационные системы	Информационные системы, базы данных по сельскохозяйственным объектам и ресурсам
	Автоматика	Системы автоматического управления и контроля
	Технологии “3S” (GPS, GIS, RS)	Глобальная система позиционирования GPS. Геоинформационная система GIS. Дистанционное зондирование RS
Ресурсосбережение и экология	Экология	Агроэкология, экология леса, экология окружающей среды
	Почвогидравлика	Ирригация полей, изучение состояния водных ресурсов.
	Экономика	Экономическая экология, ресурсосбережение, агроэкономика

Основными способами реализации точного (координатного) земледелия сегодня являются:

- агрохимический анализ почвы;
- определение плодородия почвы по урожайности определённых сельскохозяйственных культур;
- определение плодородия почвы по цвету растений.

Основная задача данных способов – построение карт неоднородности распределения плодородия почвы по полю для дальнейшего дифференцированного внесения удобрений.

**Агрохимический анализ почвы** включает в себя отбор почвенных образцов через определённые интервалы на поле и в дальнейшем изучение состава почвы и наличия в ней минеральных, органических веществ также наличие и распределение свободной влаги. После проведения данного анализа строятся агрохимические картограммы распределения питательных веществ по конкретному полю и на основании этого возможно судить о размере капиталовложений необходимых для достижения максимального урожая. Также данный способ подразумевает сокращение расстояния между выборками образцов (шурфов), что естественно повлечёт увеличение стоимости данного анализа.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что данный способ подходит только лишь для опытных участков, так как является очень дорогим (!) и трудоёмким и при использовании в производственных целях затраты на проведение агрохимического анализа почв поглощают возможные прибыли от его внедрения.

**Определение плодородия почвы по урожайности определённых сельскохозяйственных культур** базируется на использовании 3-х компонентной системы – GPS + бортовой компьютер + весовой датчик.

На комбайне устанавливается GPS приемник, который определяет направление, и скорость движения комбайна по полю, в то время как весовой датчик регистрирует вес зерна собранного на данном участке. Все параметры (скорость, координаты и вес) записываются в бортовой компьютер комбайна и на основе собранных данных строятся карты урожайности, по которым можно прогнозировать неоднородность почвенного покрова в различных частях поля.

В России широкого применения этот способ не находит по ряду причин. Например, не высокая точность GPS приёмников, т.к. на оборудование, ввозимое в Российскую Федерацию, искусственно занижена точность позиционирования в соответствии с законодательными нормами, а за увеличение точности необходимо вносить дополнительную абонентскую плату, и требуется регистрация приёмника в соответствующих учреждениях, что наносит ощутимый удар по прибыли получаемой от использования данного оборудования. Но он наиболее подходящий

для сельскохозяйственных угодий расположенных в южных широтах, т.е. там, где возможно получение 2-х урожаев за один год. При уборке 1-го нужно использовать весовой датчик, а уже последующий посев можно проводить на основе полученных карт с дифференцированным внесением удобрений. В центрально-чернозёмном районе Российской Федерации возможно получение только одного урожая, из чего следует что, получив осенью карты урожайности на следующий год, они в своей основе могут потерять актуальность т.к. после зимы под воздействием таких факторов как изменение влажности, перенос минеральных веществ и т.п. общая картина плодородия поля изменяется.

**Определение плодородия почвы по цвету растений.** Данный способ основывается на отношении окраса растений к содержанию в них питательных веществ. На трактор устанавливается датчик, который точно определяет цвет листьев растений на определённой фазе роста. Также как и в предыдущих способах, данные собираются в бортовой компьютер. После получения данных о цвете растений производят расшифровку путём сравнения полученных образцов со специализированными таблицами, в которых указана интенсивность цвета и сопутствующее ему наличие одних и недостаток других питательных веществ, и на их основе строят карты плодородия почвы. Этот способ требует довольно высоких первоначальных капиталовложений и весьма сложен для применения на больших площадях.

Вышеприведенный анализ свидетельствует о том, что существующие способы реализации координатного (точного) земледелия не имеют достаточный технический уровень и экономическую эффективность для повсеместного внедрения и требуют дальнейших нововведений в этой области в соответствии с повышающимися мировыми требованиями.

#### Библиографический список

1. Глобальная спутниковая навигационная система ГЛОНАСС / под ред. В.Н. Харисова, А.И. Перова, В.А. Болдина. – М. : ИПРЖР, 1998.
2. [www.agophys.com](http://www.agophys.com) [Электронный ресурс].
3. Generality for Precision Agriculture / Lui J. [et al.] // China meteorology Press. – 2002. – №10.
4. [www.automash.ru](http://www.automash.ru) [Электронный ресурс].
5. Якушев, В.П. На пути к точному земледелию. – СПб. : ПИЯФ РАН, 2002.
6. [www.vim.ru](http://www.vim.ru) [Электронный ресурс].
7. Марченко, Н.М. Экономико-математическая модель оптимизации технологического процесса дифференцированного внесения удобрений / Марченко Н.М., Личман Г.И. – М. : ГОСНИТИ, 1996.

УДК 001.891.57

Меньшов М.В. ст. преподаватель

## ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ОСАЖДЕНИЯ АЭРОЗОЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ОРОГРАФИЧЕСКИ НЕОДНОРОДНОЙ МЕСТНОСТИ

*Проанализированы результаты математического моделирования переноса аэрозольного образования в условиях пересеченного рельефа местности с использованием верифицированной математической модели. Приведены выводы, позволяющие проводить предварительную качественную оценку результатов распространения примесей в приземном слое атмосферы и осаждения их на подстилающей поверхности пересеченной местности.*

*The author analyses the aerosol formation carry mathematical modeling results in conditions of cross country terrain with verified mathematical model using. The conclusions allow spending results preliminary quality standard of impurity distribution in the atmosphere ground layer and their sedimentation on a spreading surface of cross country terrain.*

В последние годы все более распространенным способом проведения авиационных работ в сельском хозяйстве становится способ ультра малообъемного внесения рецептур с резко сниженными весовыми нормами, но обладающих несравнимо большей химической активностью, по сравнению с используемыми ранее веществами.

Зачастую, указанные работы проводятся в условиях слабо- и среднепересеченной местности, в предположении сохранения динамики осаждения аэрозольных образований, характерной для соответствующих процессов над равнинной местностью. Имеющиеся на практике негативные результаты (дальние выносы аэрозольного облака, наличие зон пере концентраций и пр.) списываются, как правило, на случайные порывы ветра или другие форс-мажорные обстоятельства.

Результаты методического эксперимента проводились с помощью математической модели, подробно описанной в работе [1].

Модель реализуется в несколько этапов. Сначала, исходя из результатов предварительных измерений необходимых метеопараметров, решается задача на установление динамического потока в условиях заданного рельефа местности. Расчеты базируются на решении уравнений гидротермодинамики с учетом автомоделных зависимостей Мони́на-Обухова [2] и теории подобия в слое постоянных потоков. Турбулентное замыкание проведено на основе двумерной модели Смагоринского [4].

Полученные при этом характеристики, такие как, компоненты скорости ветра, значение коэффициента турбулентности, а также, высота устойчивого приземного слоя используются за тем при реализации блока переноса примеси, в основе которого лежит уравнение полуэмпирической теории переноса и турбулентной диффузии для концентрации  $C(x,y,z,t)$  :

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial (w - w_c)C}{\partial z} = \\ = \alpha_c \frac{\partial}{\partial x} K_x \frac{\partial C}{\partial x} + \alpha_c \frac{\partial}{\partial y} K_y \frac{\partial C}{\partial y} + \alpha_c \frac{\partial}{\partial z} K_z \frac{\partial C}{\partial z} + R_c, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $(u,v,w)$  – компоненты вектора скорости;  $w_s$  – скорость гравитационного оседания примеси;  $K_x, K_y, K_z$  – коэффициенты турбулентного обмена в направлениях  $x,y,z$  соответственно;  $\alpha_c=1/Sm$ ,  $Sm$  - число Шмидта;  $R_c$  – интенсивность эмиссии вещества ( $г \cdot м^{-3} \cdot с^{-1}$ ).

Базовый набор краевых условий для уравнения (1) формулируется в виде: на боковых границах области задаются условия

$$\frac{\partial C}{\partial x} = 0, \frac{\partial C}{\partial y} = 0;$$

концентрация на подстилающей поверхности определяется с помощью соотношения

$$K_z \frac{\partial C}{\partial z} = 0 \quad \text{при } z = \delta + z_u,$$

где  $z_u$  – параметр шероховатости поверхности;

на верхней границе полагается

$$K_z \frac{\partial C}{\partial z} = 0 \quad \text{при } z = h.$$

Для получения плоской модели переноса и диффузии примеси, согласованной с базовыми динамическими уравнениями, проводится вертикальное осреднение (1) в предположении, что в каждой точке протяженного линейного источника структура концентрации близка к гауссовому факелу [3]. При этом для  $C(z)$  задается следующее выражение:

$$C(z) = N_c \left[ \exp\left(-\frac{(z - h_c)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z + h_c)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right],$$

где  $h_c$  – высота источника эмиссии над землей,  $\sigma_z$  – стандартное отклонение (дисперсия),  $N_c$  – нормировочная константа.

С целью проведения вертикального осреднения уравнение (1) записано в дивергентной форме. При интегрировании по  $z$  используется условие обращения в нуль вертикального потока

массы на верхней границе. В итоге получается искомое уравнение переноса средней по вертикали концентрации:

$$\frac{\partial hC}{\partial t} + \frac{\partial huC}{\partial x} + \frac{\partial hvC}{\partial y} = \alpha_c \left( \frac{\partial}{\partial x} hK \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} hK \frac{\partial C}{\partial y} \right) + R_c - w_g c.$$

Таким образом, в результате работы модели, выдается поле наземных концентраций, наложенное на изолинии рельефа, сгенерированного с помощью специальной программы до начала основных расчетов. Это позволяет, меняя в интерактивном режиме интересующие параметры решаемой задачи, анализировать характер распределения концентраций в контрольных точках расчетной области.

Проведенный методический эксперимент подразумевал исследование динамики осаждения аэрозольного образования, введенного на высоте 50 м линейным источником над равнинной местностью, параллельно гряде из двух одинаковых холмов высотой 60 м и протяженностью склонов порядка 750 м.

Анализировались зависимости характерных концентраций в различных зонах расчетной области от величины удаления (800 м...950 м) источника эмиссии от гребня первого холма и различных значений скорости ветра (3 м/с...10 м/с), нормального по отношению к гряде. Вариация скоростей сносящего потока особенно важна так, как в условиях пересеченной местности измеряемая, как правило, на высоте 1...2 м скорость ветра, не находится в каком-либо соответствии со скоростью ветра на высоте полета самолета сельскохозяйственной авиации.

Получены следующие результаты.

На подножии положительного (наветренного) склона первого холма: при малых скоростях ветра порядка 3 м/с, максимальная концентрация выпадений по мере удаления с 800 до 950 м, уменьшается на 90%. При увеличении скорости ветра от 5 м/с до 10 м/с, и рассмотренных выше удалений, линии пролета, разница в значениях исследуемой характеристики снижается с 52% до 25%. Далее выявлено, что при фиксированном удалении, при увеличении скорости ветра максимальная концентрация падает. Так при удалении 950 м и изменении скорости ветра от 3 м/с до 10 м/с снижение составило 32,5%, при удалении 900 м – 41,3%, при удалении 850 м – 49% и при удалении 800 м – 54%. Этот факт несомненно объясняется тем, что с возрастанием скорости ветра частицы аэрозоля сносятся от подножия прежде, чем успевают седиментировать на него.

На середине положительного склона первого холма: при перемещении вверх по склону, его вынуждающее влияние на характер распространения и осаждения аэрозольного образования становится более ощутимым. Причем тем больше, чем меньше скорость сносящего потока. Так при фиксированных удалениях и одинаковых скоростях ветра, максимальная концентрация на середине положительного склона первого вала меньше соответствующей концентрации на его подножии. Разница уменьшается с увеличением скорости ветра. Например, при скорости ветра 10 м/с на удалении 800 м она составила 32%, тогда как при скорости ветра 3 м/с, и том же удалении имелось 82,5% снижения значения максимальной концентрации. На лицо тот факт, что поток ветра большей скорости сглаживает влияние рельефа и препятствует вымыванию аэрозоля в верхние слои, «вбивая» его в склон. При большем удалении от вала этот эффект менее выражен.

Кроме того, исследовалась середина отрицательного склона первого холма. Характер распределения концентраций при идентичной вариации рассматриваемых параметров задачи в этом случае качественно схож с соответствующей картиной на положительном склоне, но количественно, концентрации значительно снижены и имеют практически следовые значения. Однако при скорости ветра 10 м/с максимальные значения концентраций в этой зоне составили от 26 до 30% от соответствующих на положительном склоне, что может считаться, мягко говоря, неприемлемым, если, к примеру, поставлена задача химической обработки только наветренной стороны холма.

Анализ значений концентраций на положительном склоне второго холма показал, что при рассмотренных гранулометрическом составе, высоте внесения и скоростях ветра значениями доли вынесенного в эту зону аэрозоля, можно пренебречь. Таким образом, кажущуюся возможность распространения способов и режимов проведения авиационных работ, параллельно гряде холмов

на достаточном удалении от их подножия является не более чем желанием считать рельеф однородным.

Приведенные выше результаты показывают, что наличие даже пологих холмов вносит существенные изменения в характер осаждения аэрозольного образования на подножии, середине положительного и отрицательного склонов холма даже в условиях блокирующей инверсии. Очевидно, что указанные особенности будут иметь место и при нейтральной стратификации пограничного слоя атмосферы.

#### Библиографический список

1. Меньшов, М.В. О математической модели миграции и осаждения полидисперсного аэрозольного образования // Вестник Самарского государственного университета. – 2006. – №6. – С. 114-122.
2. Монин, А.С. Статистическая гидромеханика / Монин А.С., Яглом А.М. // Гидрометеиздат. – СПб., 1992. – С. 694.
3. Бызова, Н.Л. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси / Бызова Н.Л., Иванов В.Н., Гаргер Е.К. // Гидрометеиздат. – СПб., 1991. – С. 8-23.
4. Smagorinsky, J. Numerical results from a ninelevel general circulation model of the atmosphere / Smagorinsky J., Manabe S., Hollway J. // Month. Weather Rev. – 1965. – V. 93. – №8. – P. 727-768.

УДК 631.3.05

Нугманов С.С. к.т.н., доцент; Васильев С.И. ассистент

### **МНОГОКАНАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПОСЛОЙНОГО НЕПРЕРЫВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ ПОЧВЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕГО ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ**

*В статье приводится описание нового устройства для горизонтального послойного измерения твердости почвы и принципа его работы. Также приведены результаты сравнительных полевых испытаний предлагаемого устройства.*

*In this clause the ground of hardness for horizontal level-by-level measurement of the new device description and a principle of its work is resulted. Also the offered device comparative field tests results are described.*

Для измерения твердости почвы используют твердомеры различных конструкций. Наиболее часто применяются ручные твердомеры вертикального действия, например, конструкции Ревякина [1].

В настоящее время, в мире происходит активное развитие и широкое внедрение технологии координатного земледелия. При этом важным условием их эффективного применения является наличие карт отражающих физико-механические свойства почвы.

Для построения почвенных карт необходимо проводить массовые замеры требуемых параметров с интервалом минимум 2...5 метров по длине хода, очевидно, что применение ручных твердомеров, для этой цели, невозможно вследствие большой трудоемкости работ [3]. Применение имеющихся, на данное время, твердомеров горизонтального действия, основанных на использовании ножевидных деформаторов, приводит к значительным погрешностям и искажениям получаемых результатов [1].

Для решения данных проблем нами был разработан и испытан твердомер новой конструкции, позволяющий производить горизонтальное непрерывное послойное измерение твердости почвы. Общий вид данного твердомера показан на рисунке 1, технологическая схема работы твердомера совместно с измерительным комплексом представлена на рисунке 2.

Особенностью конструктивной схемы предлагаемого твердомера является то, что плунжеры с наконечниками размещены внутри корпуса твердомера и контактируют с почвой не напрямую, а через упругую мембрану, что позволяет исключить влияние сил бокового трения на результаты



измерений и, тем самым, значительно повысить их достоверность.

Расположение наконечника внутри корпуса твердомера имеет преимущество и в том, что позволяет разместить несколько наконечников на любом возможном расстоянии между собой, так как исключается их взаимное влияние друг на друга.

Перед началом работы твердомер устанавливается и закрепляется на раме какого-либо сельскохозяйственного агрегата или отдельно, с помощью корпуса 1 (рис. 1) и настраивается на нужную глубину хода. В процессе движения агрегата с установленным на нем твердомером, перед его передней крышкой 4, формируется уплотненная зона почвы в виде клина. Усилие со стороны основания этого клина передается на эластичную мембрану 3, и через нее переходит на наконечник 5, установленный на плунжере 8. Втулка 6 удерживает плунжер 8, и обеспечивает ему лишь осевое перемещение. Далее усилие с плунжера 8 передается на тензометрическую балку 7, изготовленную из металлической пластины с наклеенными на нее тензометрическими датчиками. Под воздействием прилагаемого усилия тензометрическая балка 7 деформируется, при этом тензометрические датчики, соединенные по мостовой схеме, формируют выходной сигнал аналогового типа. Задняя крышка 2, служит для защиты тензометрических датчиков от попадания почвы и влаги в корпус.

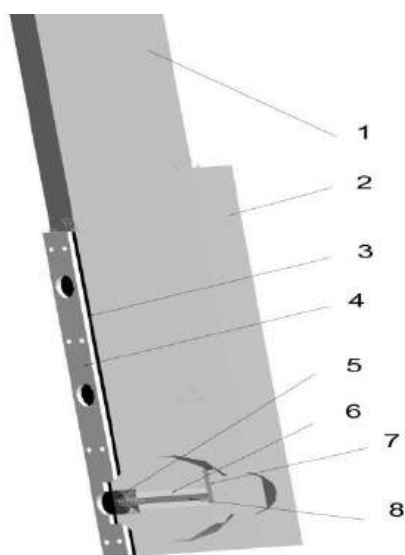


Рис. 1. Общий вид твердомера:  
1 – корпус; 2 – задняя крышка; 3 – мембрана;  
4 – передняя крышка; 5 – наконечник; 6 – втулка;  
7 – тензометрическая балка; 8 – плунжер



Рис. 2. Технологическая схема работы предлагаемого твердомера с измерительным комплексом

Аналоговый сигнал, полученный с твердомера, принимается измерительным комплексом, состоящим из аналогово-цифрового программируемого устройства (АЦПУ) и ноутбука (рис. 2). АЦПУ производит перекодировку аналогового сигнала в цифровой и его обработку (фильтрацию) в соответствии с установленными параметрами. В компьютере производится обработка сигнала в специальной программе, его перерасчет в готовые значения параметра твердости (в соответствии с тарифовочной функцией) и предоставление результатов в виде таблиц и графиков.

Для апробации предлагаемого твердомера нами были проведены сравнительные полевые испытания. Производилось сравнение предлагаемого твердомера с твердомером конструкции Ревякина. Целью испытаний было подтверждение работоспособности предлагаемого твердомера, а также определение точности и достоверности результатов измерений.

Испытания проводились на паровом поле после яровой пшеницы «Кинельская 59» после обработки почвы комбинированным культиватором «Smaragd 9». Почвенные условия были типичными для данной зоны и соответствовали требованиям условий испытаний.

Испытания проводились в трехкратной повторности, каждая повторность включала проход полосы испытываемым твердомером и замер твердости почвы на этой полосе твердомером Ревякина [3].

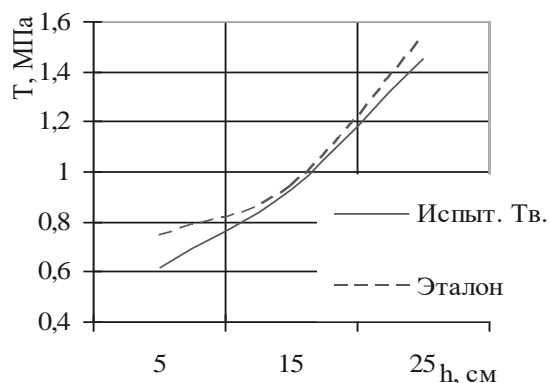


Рис. 3. Сравнение зависимостей твердости почвы от глубины измеряемого слоя

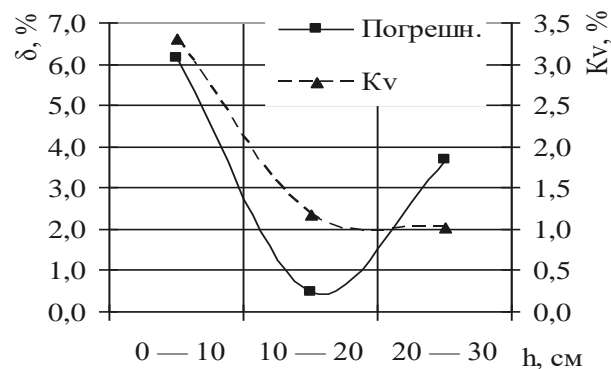


Рис. 4. Зависимость погрешности измерения и коэффициента вариации от глубины измеряемого слоя

Как видно из графика (рис. 3) прибор выдает показания сопоставимые с показаниями твердомера Ревякина. Величина погрешности незначительна. График, отражающий функцию приведенной погрешности и коэффициента вариации, приведен на рисунке 4. Максимальное значение абсолютной погрешности равно 6,12% наблюдается в слое 0-10 см (очень рыхлая почва). Среднее значение приведенной погрешности равно 3,03%, что свидетельствует о высокой точности испытываемого твердомера. Коэффициент вариации имеет наибольшее значение также в верхнем слое 6,6%, резко снижаясь с увеличением глубины измерения, в среднем слое и далее он не превышает 2%, тогда как у твердомера Ревякина – 9%.

Далее нами был проведен эксперимент с целью построения карты твердости почвы. Общий вид предлагаемого твердомера, в сборе и установленный на раме трактора МТЗ-82, в процессе работы представлен на рисунке 5.



Рис. 5. Общий вид предлагаемого твердомера в процессе работы

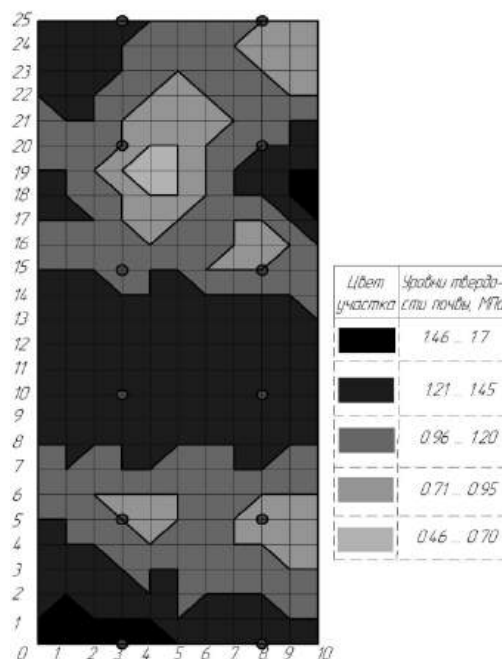


Рис. 6. Карта твердости почвы на участке поля

Для эксперимента был выбран участок поля с размерами 500 х 200 м и разбит на квадраты со стороной 20 м. Проходы твердомера совершались вдоль длинной стороны участка.

Количество проходов равнялось 11, интеграция осуществлялась через каждые 20 метров хода. Параллельно с этим, в целях дополнительного контроля, производили измерения твердости почвы твердомером Ревякина, по двум произвольным полосам проходов.

В результате опыта получили серию данных, наложив которые на соответствующие точки карты поля и проведя линии равного значения твердости почвы, получили карту твердости почвы на заданном участке (рис. 6).

Время, затраченное на проведение опыта испытуемым твердомером, составило 44 мин., при испытаниях твердомером Ревякина 350 минут, т.е. в 8 раз больше.

На основании проведенных экспериментов можно сделать вывод, что испытуемое устройство для горизонтального измерения твердости почвы (твердомер) работоспособно и обладает необходимой точностью и достоверностью получаемых, при работе, результатов, а полученная карта (рис. 6) объективно отражает распределение твердости почвы по участку. Приведенная погрешность опыта составила в среднем 3,6%, что является допустимым.

В итоге можно сделать вывод, что внедрение устройства для горизонтального послойного непрерывного измерения твердости почвы позволяет производить массовые измерения твердости почвы и составлять соответствующие карты участков полей, что, в свою очередь, позволяет эффективно применять технологии координатного земледелия.

#### Библиографический список

1. Васильев, С.И. Анализ существующих показателей и технических средств для агрооценки состояния почвы / Васильев С.И., Нугманов С.С. // Актуальные инженерные проблемы АПК в XXI веке : сборник научн. трудов инженерной секции. – Самара, 2004. – С. 165-171.
2. Applications of geographical information system in agrophysics and agro ecology : proc. of the 1<sup>st</sup> Int. Symposium of St. Petersburg Branch of ISTRO (6-9 september 1999). AFI. – St. Petersburg, 1999. – 28 p.
3. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд., доп. и перераб. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.

УДК 631.423.2

Нугманов С.С. к.т.н., доцент; Иваськевич А.В. аспирант

## МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИЗМЕРЕНИЮ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

*В статье описана методика и результаты лабораторных исследований по измерению влажности почвы через ее электропроводность.*

*Electric conductivity of soil moisture laboratory researches results in article technology is described.*

Почва состоит из множества компонентов, одним из основных является почвенная влага, так как непосредственно находится в ней [2]. Объем почвенной влаги определяет одно из важнейших ее свойств – влажность. Влажность почвы оказывает сильное влияние на физико-механические и технологические свойства почвы, такие как плотность, твердость, липкость и коэффициент трения. В связи с этим при обработке почвы или ее изучении существует необходимость определения ее влажности. Для измерения влажности почвы разработан ряд методов и приборов, часть из которых непригодна для полевого применения. Поэтому некоторые способы необходимо совершенствовать или разрабатывать приборы, которые могут проводить экспресс-измерения непосредственно в полевых условиях, обладающих достаточно высокой точностью и стабильностью показаний, учитывающих такие сторонние факторы как химический состав, физико-механические свойства почвы и ее температуру в момент измерения.

Одним из наиболее удобных и пригодных для автоматизации способов измерения является определение влажности почвы по ее электрофизическим характеристикам, например по ее электропроводности.

Лабораторные исследования проводились с целью изучения электропроводности почвы в зависимости от влажности с использованием лабораторной установки (рис. 1).

Исследования проводились с использованием образцов почвы двух разных типов чернозема. Для экспериментов использовалась фракция почвы с размером частиц до 5 мм, чтобы снизить погрешность экспериментов из-за неоднородности механического состава и плотности.

Моделировалась необходимая влажность почвы (14-35%). Границы влажности выбраны с учетом агротехнического использования почвы, 14% – влажность устойчивого завядания растений, при данной влажности прекращается рост растений и они погибают. При 35% влажности почва становится липкой, при такой влажности никаких технологических операций с почвой не производится.

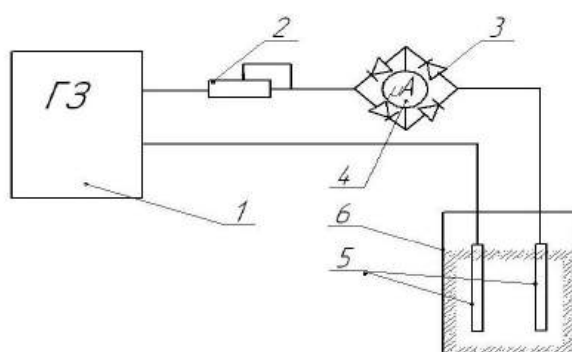


Рис. 1. Схема лабораторной установки:  
1 – генератор частоты тока ГЗ-102; 2 – реостат;  
3 – диодный мост; 4 – микроамперметр;  
5 – электроды; 6 – контейнер с образцом почвы

Почва помещалась в герметичный контейнер, через крышку которого, чтобы не нарушать его герметичность, помещаются электроды с фиксированным расстоянием 10, 20 и 30 мм между ними.

В качестве источников электрического тока использовались выпрямитель постоянного тока и генератор частоты тока ГЗ-102, выдающий синусоидальный сигнал частотами генерируемого тока 14...200000 Гц.

Данные экспериментов получали с помощью цифрового микроамперметра на частотах электрического тока в зависимости от влажности почвы и расстояния между электродами.

Измерения проводили следующим образом. Через электроды и добавочное сопротивление пропусклся электрический ток напряжением 9 В, наибольшая сила тока при коротком замыкании электродов между собой достигала 50 мкА.

При пропускании электрического тока через образец почвы наблюдается падение напряжения на электродах, т.к. почва играет роль дополнительного сопротивления. Проведенные исследования показывают, что в зависимости от влажности почвы ее сопротивление меняется, а также показывают, что на этот показатель влияют тип почвы, ее химический и физико-механический состав.

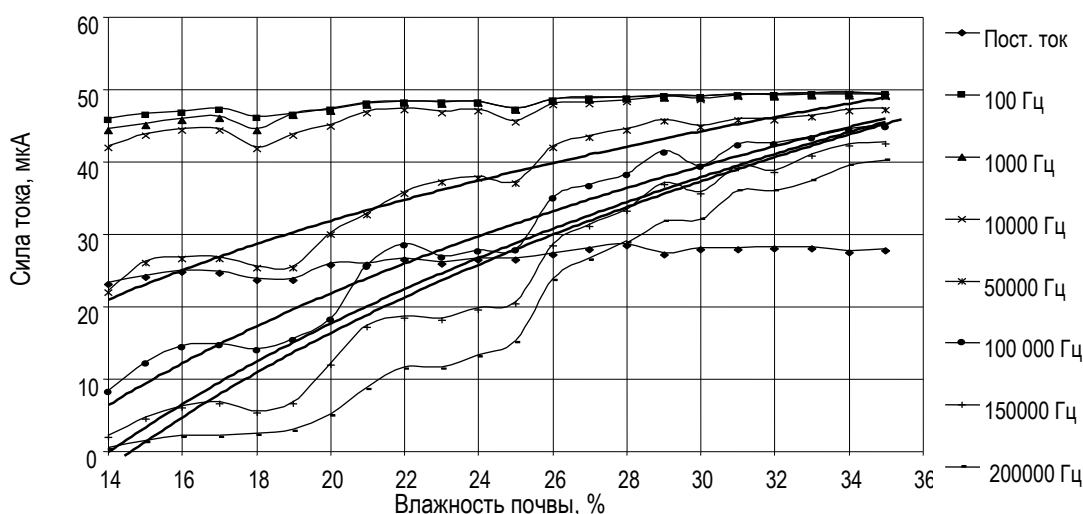


Рис. 2. Графики зависимости проводимости почвы от влажности

По результатам измерений построены графики (рис. 2), из которых видно как влияет на изменение падения напряжения на электродах влажность почвы при различных частотах электрического тока. Исследования показали, что изменение расстояния между электродами, при которых проводились измерения, существенного изменения на результат не оказывает. В большей степени на результат измерений оказывает плотность контакта электродов с образцом почвы. Из графиков видно, что при проведении измерений на постоянном токе наблюдается нестабильность показаний, которые изменяются во времени и с повышением влажности длительность этого процесса увеличивается. Это объясняется э. д. с. поляризации, которая противодействует приложенному напряжению [1].

При измерениях на частотах 100...10000 Гц результат измерений стабильный на этих частотах не происходит изменения показаний. В этом диапазоне частот электрического тока почва обладает хорошей проводимостью и резкой зависимости проводимости от влажности не наблюдается.

Далее видно, что при повышении частоты тока до 50000 Гц и выше наблюдается более выраженное изменение проводимости почвы, т. к. ее сопротивление зависит от частоты электрического тока пропускаемого через них.

Дальнейшие исследования показывают, что наибольшей информативностью для измерений влажности почвы по ее проводимости обладает диапазон частот электрического тока 100000...200000 Гц.

Из проведенных исследований можно сделать следующие выводы. Измерение влажности почвы на постоянном токе применять не целесообразно, так как результат не стабилен и его значение, отсчитанное по шкале прибора, зависит от момента отсчета после включения датчика в электрическую цепь. На высоких частотах результаты измерений более стабильные и практически не зависят от момента отсчета после включения датчика в электрическую цепь прибора.

Следовательно, измерение влажности почвы по ее электропроводности следует проводить на высоких частотах электрического тока.

#### Библиографический список

1. Берлинер, М.А. Электрические измерения, автоматический контроль и регулирование влажности. – М. : Энергия, 1965. – 488 с.
2. Кильчевская, Л.С. Влажность почв Европейской части СССР. – Л. : Гидрометеиздат, 1983. – 183 с.

УДК 631.432

Апаликов А.И. к.т.н.; Апаликов К.А. студент

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ВЛАГОНАКОПЛЕНИЯ НА ОПЫТНОМ ПОЛЕ, ОБРАБОТАННОМ КОМБИНИРОВАННЫМ ОРУДИЕМ**

*Рассмотрены результаты экспериментальных исследований влагосберегающего способа обработки склоновых земель.*

*The results of hillside soil cultivation waterholding method experimental researches are considered.*

В Самарской области содержание влаги в почве является лимитирующим фактором. Следовательно, все приемы обработки почвы на склонах, способствующие увеличению ее запасов, повышают урожайность возделываемых культур.

Главными показателями физического состояния почвы являются количество продуктивной влаги в метровом слое, плотность, твердость и выравненность поверхности. От плотности сложения в первую очередь зависит водный, воздушный, тепловой режимы почвы, а это сказывается на мобилизации питательных веществ, их достаточности и использования растениями. С плотностью сложения почвы непосредственно связаны эффективность и качество механической обработки, затраты на тяговое усилие [1, 2, 3].



Экспериментальные исследования проводились с 2001 году на полях Поволжского научно-исследовательского института селекции и семеноводства им. П.Н. Константинова. Определялись влияние различных форм гибких соломоподающих элементов на количество подаваемой мульчи, а также зоны разрушения почв от глубины щелевания в поперечном сечении щели, вспушенность почв в этой зоне, сохранение стерни и параметры валков.

Почва на опытном участке по механическому составу относится к чернозему обыкновенному. Уклон поля – 8,5<sup>0</sup>. Микрорельеф средневыраженный. Почва в момент закладки полевых опытов была влажная. В верхнем десятисантиметровом слое влажность почвы составляла 32,2%, в нижележащих горизонтах почва была суше, в слое 10-20 см – 29,2%, в слое 20-30 см – 18,6%. Твердость почвы с глубиной увеличивалась от 1,57 до 4,84 МПа. По структурному составу почва была мелкокомковатой. Фон участка – стерня ячменя и измельченная солома равномерно разбросанная на поле, при средней высоте 10,1 см; на 1 м<sup>2</sup> приходилось 232 г, причем в 80 г/м<sup>2</sup> стерня была целой, стоящей и в 152 г/м<sup>2</sup> – измельченной и разбросанной по поверхности поля.

Экспериментальное орудие [4] агрегатировалось с трактором МТЗ-82. Были заложены делянки – 27 вариантов (9 опытов, отличающихся разными глубинами обработки: от 10 до 12 см; от 20 до 22 см; от 23 до 25 см; на трех скоростях движения 6; 8; 10 км/ч и каждый опыт в трехкратной повторности). Скоростной режим был выбран согласно агротребованиям. Первичную статистическую обработку полученных данных и построение графиков осуществляли на персональном компьютере с применением статистических функций и мастера диаграмм приложения «Microsoft Excel». На основе полученных данных были построены графические зависимости влагонакопления почвы в слоях (0-100 см).

Первый вариант обработки почвы с использованием комбинированного орудия проводили в трёхкратной повторности на девяти делянках, где средняя глубина обработки почвы была зафиксирована на уровне 24,6 см, что соответствовало первоначальному условию обработки почвы на глубину 23-25 см.

Далее, скоростной режим движения орудия на девяти делянках изменялся и соответствовал: 1; 4; 7 делянки –  $V_1=6$  км/ч; 2; 5; 8 делянки –  $V_2=8$  км/ч; 3; 6; 9 делянки –  $V_3=10$  км/ч. Средняя скорость движения на первом варианте была равна: 5,78; 6,73; 9,23 км/ч. Рабочая ширина захвата орудия составляла на трёх повторностях 1,75; 1,80; 1,83 см.

В последующие годы на девяти делянках первого варианта и контрольном участке были взяты образцы почвы для определения влагонакопления в слое 0-100 см. На основе полученных данных был построен график (рис. 1) зависимости влагонакопления от глубины обработки 23-25 см.

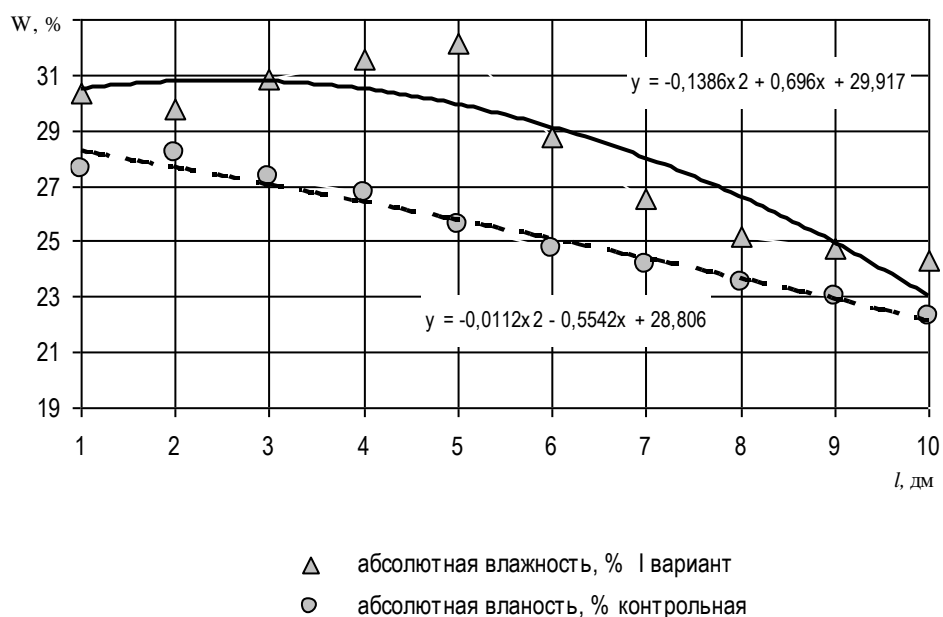


Рис. 1. Изменение абсолютной влажности почвы в метровом слое при глубине обработки 23-25 см

Анализ графиков показывает, что с увеличением глубины взятия образцов, количество накапливаемой влаги в почве на опытном участке возрастает, соответственно в слое: 0-30 см составляет 30,32; 0-50 см – 30,92%. Затем происходит снижение влагонакопления и в слое 0-100 см количество влаги 28,4%. На контрольном участке (без обработки) влагонакопление в слое: 0-30 см составляет 27,7%; в слое от 0-50 см – 27,1; 0-100 см – 25,3%. Таким образом, из анализа графических данных следует, что при обработки комбинированным орудием увеличивается количество влаги по сравнению с контрольным участком соответственно в средних слоях: 0-30 см на 9,4%; от 0-50 см на 14%; от 0-100 см на 14% и соответствует агротехническим требованиям.

Второй вариант обработки почвы с применением комбинированного орудия использовали аналогично первому варианту. Где средняя глубина обработки почвы составила 20,8 см, что соответствовало заданному условию 20-22 см. Средняя скорость на этих делянках повысилась и составила: 5,94; 7,21; 9,56 км/ч.

Это можно объяснить тем, что сопротивление почвы при уменьшении глубины обработки снижается, рабочая ширина захвата при этом соответствовала: 1,82; 1,87; 1,95 м. На девяти делянках второго варианта и контрольного участка были взяты образцы почвы для определения влагонакопления. На основе полученных данных был построен график (рис. 2) зависимости влагонакопления от глубины обработки.

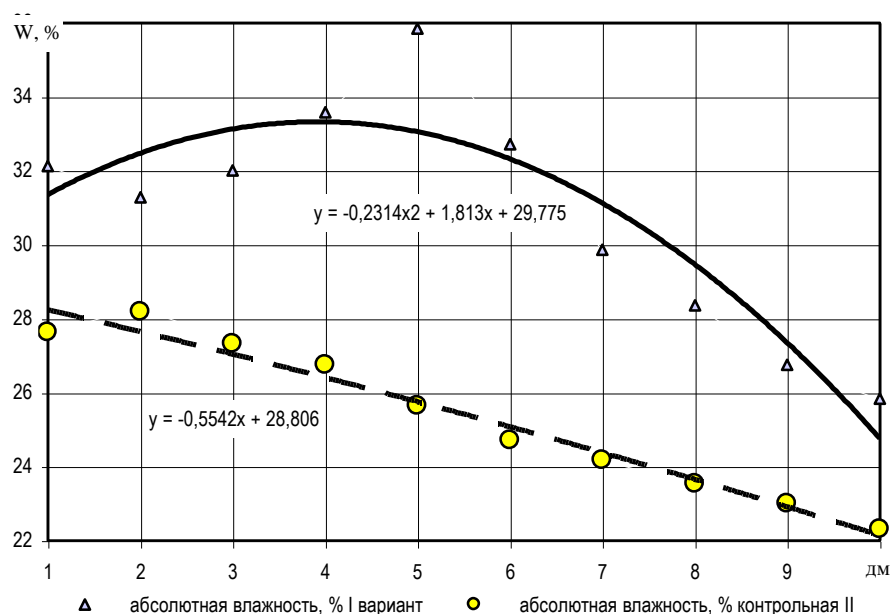


Рис. 2. Изменение абсолютной влажности почвы в метровом слое при глубине обработки 2022 см

Анализ экспериментальных данных (рис. 2) показал, что среднее количество влаги в слоях: от 0-30; 0-50; 0-100 см составило соответственно 31,8; 32,96; 30,8%. Это значительно выше, чем в 1, 2 и 3 вариантах, несмотря на то, что 4, 5, 6 варианты обработки проводились ниже по склону. Данный факт объясняется тем, что происходит естественное перемещение влаги вниз по склону, а также наличием влаги в образцах почвы, взятых в горизонте от 0-60 см второго варианта. Наличие влаги в сравнение с контролем было выше и составило в слоях от 0-30 см на 14%; в слоях от 0-50 см на 24%; в слоях от 0-100 см на 21%.

Третий вариант обработки почвы осуществлялся аналогично первому и второму варианту. Средняя глубина обработки на девяти делянках данного варианта была зафиксирована на отметке 11,56 см.

Средняя глубина обработки на 7, 8 и 9 вариантах составила 11,56 см. Средняя скорость на этих вариантах была выше, чем в предыдущих и составила 6,03; 7,32; 9,87 км/ч, это объясняется снижением сопротивлением почвы. Рабочая ширина захвата напрямую зависела от скорости движения устройства и составила соответственно: 1,87; 1,96; 2,08 м. Трактор при движении на склоне сложнее удерживать в прямолинейном направлении.

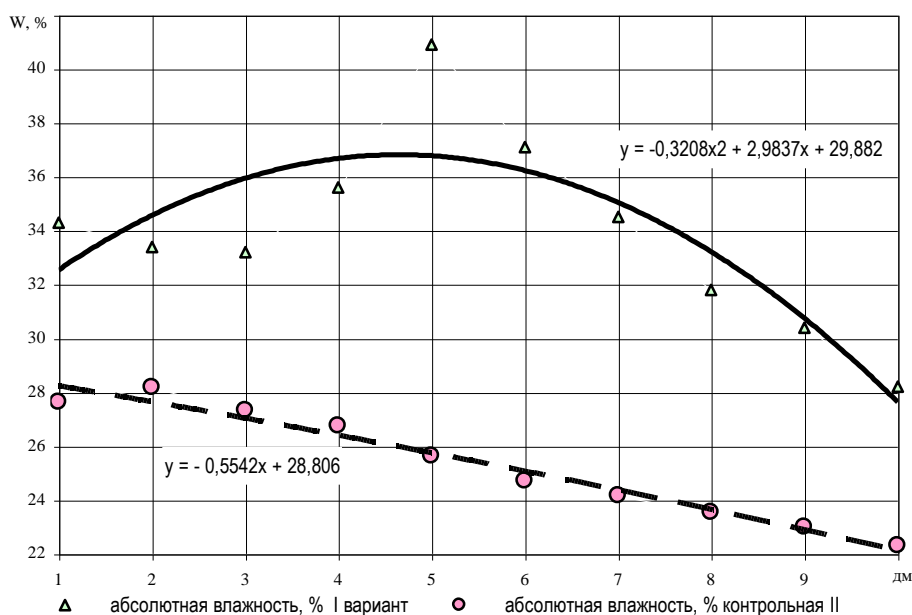


Рис. 3. Изменение абсолютной влажности почвы в метровом слое при глубине обработки 10-12 см

Анализируя графические зависимости (рис. 3) можно сделать вывод, что влагонакопление при данной глубине обработки значительно выше, чем в контроле как в корнеобитаемом слое, так и в метровом слое и соответствует: от 0- 30 равно 33,63%; от 0-50 см – 35,48% и в слое от 0-100 см – 33,94%. Это на много превышает показатели контрольного участка: в слоях от 0-30 см на 21%; от 0-50 см на 30%; от 0-100 см на 34%.

Данное превышение влагонакопления в нижней части склона объясняется тем, что при взятии образцов почвы на влажность в слое почвы от 90-100 см присутствовал чернозем обыкновенный, в то время как в верхней части склона, где проводился первый вариант опыта, наличие глины в образцах присутствовало на глубине 25-30 см. Перемещение почвенных частиц в низ по склону происходит вследствие проводимых плужных обработок склоновых полей с оборотом пласта вниз по склону.

Таким образом использование предложенного способа обработки склоновых земель позволяет увеличить накопление влаги на 20%.

#### Библиографический список

1. Бахтин, П.У. Физико-механические свойства почвы как фактор, определяющий условия работы сельскохозяйственных машин // Тр. Почвенного института им. В.В. Докучаева. – М. : АН СССР, 1954. – 215 с.
2. Вилде, А.А. О закономерностях изменения твердости почв // Механизация и электрофикация сельского хозяйства : сб. науч. трудов Латвии / НИИМЭСХ. – Рига : Звайгзис, 1978. – Вып. IV. – С. 176-178.
3. Качинский, Н.А. О структуре почвы // Труды сов. селекции МАП. – Т. 1. – М., 1933. – 123 с.
4. Пат. 2246807 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> А 01 В 13/16. Способ борьбы с эрозией почв на склонах и устройство для его осуществления / Апаликов А.И., Канаев А.И., Апаликов А.А. – № 200310424/12 ; заявл. 12.02.2003 ; опубл. 27.02.2005, Бюл. № 6. – С. 6 : ил.

## ВАРИАЦИОННОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОБМЕНА ДЛЯ ГЕТЕРОГЕННОЙ СИСТЕМЫ В ПРИБЛИЖЕНИИ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ

*Представлена новая математическая модель процессов тепломассообмена в гетерогенной среде, которая позволяет применить прямые методы вариационного исчисления не только по пространственным переменным, но и по времени.*

*New variational principle for complex coupled heat mass transfer is presented. Its secure application of a Ritz's method not only on geometry but on time coordinate too.*

Современное развитие сельскохозяйственной техники и технологии выдвинуло в число актуальных наиболее трудные задачи тепломассообмена, характеризующиеся не стационарностью, многомерностью, нелинейностью и взаимосвязанностью процессов переноса, неоднородностью (гетерогенностью) и химической активностью систем, в которых они осуществляются. Точные аналитические методы имеют весьма ограниченное применение при решении таких задач. Интенсивное внедрение в эту область прикладной математики, приближенных аналитических и стремительно развивающихся численных методов и их программного обеспечения на ЭВМ, в настоящее время объективно сдерживается известной сложностью дифференциального математического описания процессов тепломассообмена. В связи с этим, закономерен интерес к комбинированным интегродифференциальным моделям, позволяющим применить прямые методы вариационного исчисления либо по всем пространственно-временным переменным либо по их части (в зависимости от типа задачи и требований к её решению) [1].

Цель настоящей работы – расширить область применения известного вариационного принципа В.В. Чиковани [2] на новый достаточно обширный класс задач тепломассообмена в гетерогенных системах с учетом процессов сорбции.

При описании процессов тепломассообмена в сплошных средах используется предположение о локальном равновесии, в соответствии с которым любой дифференциальный объем сплошной среды представляет собой внутренне равновесную термодинамическую систему [1]. Однако существуют физические модели сплошных сред, используемые в энергетике, метеорологии, почвоведении и др., для которых общепринятое условие локального равновесия нуждается в уточнении. В частности, это необходимо тогда, когда в гетерогенной системе (например, в газожидкостном или мелкодисперсном потоке, во влажном воздухе атмосферы, либо в почве) нельзя пренебречь эффектами межфазного взаимодействия. В этом случае будем рассматривать каждый дифференциальный объем как многофазную систему, характеризующуюся не только равновесными, но и неравновесными параметрами, определяющими необратимые процессы межфазного взаимодействия внутри дифференциального объема.

Рассмотрим двухфазную систему, состоящую из гомогенных фаз: – твердой (Т) и – газовой (Г). Каждая из фаз предполагается внутренне равновесной макросистемой, поэтому к ней применим формализм термодинамики необратимых процессов, в том числе и основной вариационный принцип [2], в соответствии с которым при осуществлении необратимых процессов изменение состояния макросистем, находящихся во внутренне равновесных состояниях, осуществляется таким образом, что количество теплоты, подводимой к ним от внешних источников, максимально. Для каждой из подсистем (Т и Г) это условие имеет вид:

$$\int_{1-2} dQ_{\text{сн}} = \int_{1-2} T(dS - d_i S - \sum_k \bar{S}_k dn_k) = \max, \quad (1)$$

где  $d_i S$  – изменение энтропии подсистемы (Т и Г) за счет необратимости процесса 1-2, но без учета необратимости, обусловленной изменением её состава;  $dn_k = d_e n_k + d_u n_k$  – изменение числа молей компонента в подсистеме (Т, Г) в результате массообмена соответственно со средой

окружающей дифференциальный объем, и между подсистемами в пределах одного дифференциального объема.

Для рассматриваемой модели массообмен между твердой и газообразной фазами происходит за счет процессов сорбции. Будем пренебрегать изменением объема твердой фазы, работой сил давления в газовой фазе, а также работой, связанной с изменением площади адсорбированного слоя (при адсорбции на макропористых адсорбентах), или объема сорбционной фазы (при адсорбции на микропористых адсорбентах). С учетом этих допущений первый закон термодинамики для каждой из подсистем запишем в виде:

$$dQ_{en} + d_u Q + T d_i S = dH - \sum_k \bar{H}_k dn_k \quad (2)$$

где  $dQ_{en}$  – теплообмен со средой окружающей дифференциальный объем;

$d_u Q$  – необратимый подвод тепла за счет процессов сорбции.

Для того чтобы осуществился процесс адсорбции одного моля газа, необходимо сообщить ему энергию активации адсорбции  $E_{ad}$ . При десорбции одного моля компонента в газовую среду, его энергия равна  $\bar{H}^T + E_{dec}$ . Часть этой энергии, а именно  $E_{ad}$  необратимо рассеивается в газовой среде.

Аналогично осуществляются процессы в твердой фазе:

$$d_u Q^T = \sum_k E_{ad,k} d_u n_k^T; \quad d_u Q^T = \sum_k E_{dec,k} d_u n_k^T; \quad (3)$$

Суммируя уравнения (2), записанные для каждой из фаз (Т, Г), с учетом (3) получим

$$dQ_{en} + \sum_k (E_{ad,k} - E_{dec,k}) d_u n_k^T + T d_i S = dH - \sum_k \bar{H}_k^T dn_k - (\bar{H}_k^T - \bar{H}_k^G) d_u n_k^T \quad (4)$$

Как следует из (4) в пределах дифференциального объема должно выполняться равенство

$$\sum_k (E_{ad,k} - E_{dec,k}) d_u n_k^T = - \sum_k (\bar{H}_k^T - \bar{H}_k^G) d_u n_k^T \quad (5)$$

Применяя уравнение Гиббса (1) для каждой из подсистем, и складывая их получим

$$dH = T dS + \sum_k M_e^T d_e n_k^T - \sum_k (M_k^T - M_k^G) d_u n_k^T \quad (6)$$

На основании (5), (6) и соотношения для химического потенциала:

$$M_k = \bar{H}_k - T \bar{S}_k,$$

преобразуем (4)

$$dQ_{en} = T dS - T \sum_k \bar{S}_k^T d_e n_k - T d_i S_\Sigma \quad (7)$$

Так как процессы 1-2 в подсистемах (Т и Г) осуществляются за один и тот же интервал времени, то на основании (1) и (7) для процесса 1-2 во всем двухфазном дифференциальном объеме получим

$$\int_{1-2} dQ_{en} = \int_{1-2} T dS - T \sum_k \bar{S}_k^T d_e n_k - T d_i S_\Sigma = \max \quad (8)$$

Таким образом, вариационный принцип В.В. Чиковани [2] в применении к процессам тепло-массообмена в двухфазной среде с учетом процессов сорбции дает условие локального максимума функционала (8). Общая методика применения вариационного принципа к ряду прикладных задач изложена в монографии [2]. Настоящая работа позволяет дополнить этот ряд новым типом задач, диктуемых потребностями практики.

#### Библиографический список

1. Хаазе, Р. Термодинамика необратимых процессов. – М.: Наука, 1967. – 562с.
2. Чиковани, В.В. Вариационные принципы и методы решения задач тепломассообмена / В.В. Чиковани, Н.В. Долгоруков. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 152 с.



The technology of value discompaction ground by freezing definition is described. Laboratory device for giving necessary density to soil samples is designed and its work is described.

Для оценки саморазуплотняющей способности почвы посредством промораживания необходимо знать для данного типа почвы, при какой плотности и при какой влажности происходит процесс наиболее эффективного разуплотнения (оструктурирования) почвы промораживанием. Величина разуплотнения может быть определена, как разность плотностей почвы до и после промораживания:

$$\Delta\gamma = \gamma' - \gamma,$$

где  $\Delta\gamma$  – изменение плотности почвы от морозного пучения, см<sup>3</sup>;

$\gamma'$  – плотность почвы после промораживания, г/см<sup>3</sup>.

Для определения величины плотности почвы после промораживания необходимо проведение лабораторных экспериментов с образцами почвы различной плотности и различной влажности.

Подготовка образцов почвы с различной плотностью для промораживания осуществляется из почвы при определенных влажностях [1]:

$$\begin{array}{l} W_1 \rightarrow \gamma_{11}; \gamma_{12}; \gamma_{13} \dots \gamma_{1n} \\ W_2 \rightarrow \gamma_{21}; \gamma_{22}; \gamma_{23} \dots \gamma_{2n} \\ \dots\dots\dots \\ W_m \rightarrow \gamma_{m1}; \gamma_{m2}; \gamma_{m3} \dots \gamma_{mn} \end{array},$$

где  $W_1, W_2 \dots W_n$  – влажности образцов почвы;

 $\gamma_{11}; \gamma_{12}; \gamma_{13} \dots \gamma_{1n} \dots \gamma_{mn}$  – требуемая плотность почвы, г/см<sup>3</sup>.

Для этого вес навески рассчитывается по формуле:

$$m = \gamma \cdot V \cdot (W + 1),$$

где  $m$  – масса навески влажной почвы, г;

$\gamma$  – требуемая плотность почвы, г/см<sup>3</sup>;

$V$  – объем уплотненного образца почвы, см<sup>3</sup>;

$W$  – влажность образца почвы.

Уплотнение образцов осуществляется на лабораторной установке (рис. 1). Лабораторная установка состоит из металлического цилиндра 1, ограничительного диска 2, перемещаемого по штоку прессующего поршня 3, основания 4, силового гидроузла 5, опоры 6, нижней 7 и верхней 8 упорных плит, возвратных пружин 9, направляющей пластины 10 (предметного столика) и стяжек 11.

Оборудование работает следующим образом. Навеска почвы засыпается в цилиндр 1, установленный в основание 4, и устанавливается для уплотнения на направляющую пластину 10. При помощи силового гидроузла 5 образец почвы уплотняется до ограничительного диска 2. Отключается силовое действие гидроузла 5, после чего возвратные пружины 9 перемещают пластину 10, возвращая шток силового гидроузла 5 в исходное положение.

Металлический цилиндр с уплотненным образцом почвы снимается с установки и помещается в холод для промораживания. Температура промораживания  $-17...-22^{\circ}\text{C}$ . Время промораживания – 3...4 дня.

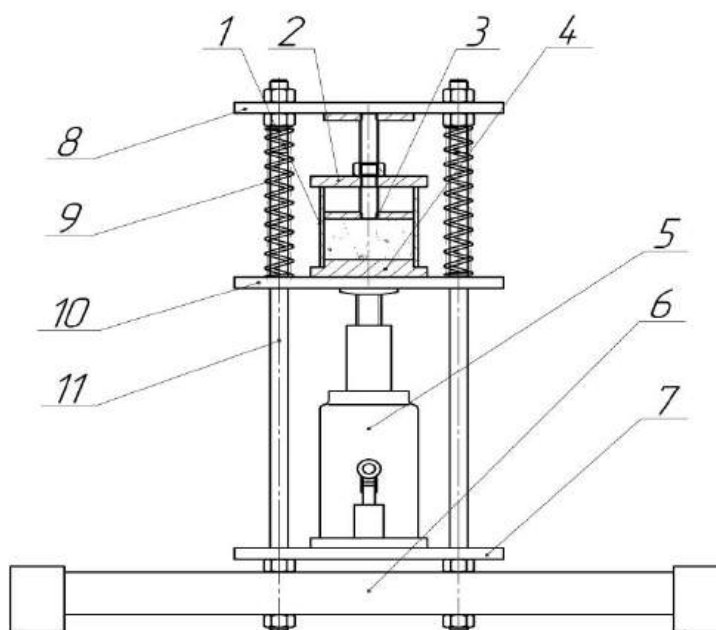


Рис. 1. Лабораторная установка для уплотнения образцов почвы:  
1 – металлический цилиндр; 2 – ограничительный диск; 3 – прессующий поршень; 4 – основание; 5 – силовой гидроузел; 6 – опора; 7, 8 – нижняя и верхняя упорные плиты; 9 – возвратные пружины; 10 – направляющая пластина (предметного столика); 11 – стяжки

В объеме цилиндра образец почвы располагается в середине, оставляя по обе стороны определенный объем.

После промораживания образцов определяется приращение объема от морозного пучения. Для этого объем цилиндра, не занятый почвой, засыпается песком. При помощи чистика, уровень песка выравнивается по торцу цилиндра, после чего песок ссыпается в измерительную мензурку и определяется объем песка, который равен части объема цилиндра, не занятого почвой. Аналогичные действия выполняются для другого объема с противоположной стороны цилиндра.

После определения незанятого почвой объема цилиндра, аналитически определяется плотность промороженного образца почвы по формуле [1]:

$$\gamma' = \frac{m}{V'},$$

где  $\gamma'$  – плотность промороженной почвы, г/см<sup>3</sup>;

$V'$  – объем цилиндра, занимаемый промороженной почвой, см<sup>3</sup>.

Объем цилиндра  $V'$ , занимаемый промороженной почвой определится по формуле:

$$V' = V_{\text{ц}} - V_{\text{п}},$$

где  $V_{\text{ц}}$  – объем цилиндра, см<sup>3</sup>;

$V_{\text{п}}$  – суммарный объем песка, помещенный в цилиндр, см<sup>3</sup>.

По полученным данным строятся кривые, характеризующие зависимость эффективности процесса разуплотнения уплотненной почвы промораживанием от ее плотности и влажности.

Анализ экспериментальных данных позволит прогнозировать эффективность процесса саморазуплотнения почвы промораживанием в естественных условиях, а также наметить и разработать необходимые мероприятия.

#### Библиографический список:

1. Почвоведение / под ред. И.С. Кауричева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Колос, 1982. – 496 с.

# ПОСЕВ И УБОРКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

УДК 633.331

Крючин Н.П. д.т.н., профессор; Морев Е.А. инженер

## ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ДОЗИРОВАНИЯ СЕМЯН ВЫСЕВАЮЩИМ АППАРАТОМ

*Рассмотрены существующие схемы высевяющих аппаратов и выявлена необходимость в создании винтового дозатора семян как наиболее перспективного для высева семян с различными физико-механическими свойствами.*

*Existing schemes of sowing devices are considered and necessity for creation screw batcher seeds as the most perspective for seeding seeds with various physico-mechanical properties is revealed.*

Очень важной операцией при возделывании сельскохозяйственных культур является посев. Его качественный уровень определяет полноту использования потенциальных ресурсов почвы для получения высокого урожая – чем выше качество посева, тем полнее используются ресурсы.

Главная задача посева состоит в оптимальном размещении семян, обеспечивающим получение максимального урожая. При этом к посеву, как к технологическому процессу, предъявляются три основных требования: высева заданного количества семян на единицу площади поля; равномерное размещение их по площади поля; заделка их на определённую (одинаковую) глубину.

Определяющую роль в формировании равномерно распределённых рядов семян и растений занимает высевяющий аппарат. К нему в свою очередь предъявляются следующие требования: равномерно подавать семена в сошники; обеспечивать устойчивый высев, то есть высевать одинаковое количество семян на 1 м пути независимо от заполнения ящика, рельефа поля, наклона сеялки, изменения скорости движения агрегата; не повреждать семена; бесперебойно высевать семена различных культур, отличающиеся по форме, размерам, состоянию поверхности [1].

В настоящее время существует большое количество высевяющих аппаратов с различными конструктивно-технологическими схемами, у которых есть свои преимущества и недостатки.

Основными недостатками существующих высевяющих аппаратов является малый уровень универсальности, т.е. они могут использоваться только для посева одной или нескольких культур, сложность конструкции, малый предел регулирования нормы высева, а так же большая неравномерность дозирования. В связи с этим существует необходимость создания высевяющего аппарата, который позволил высевать семена различных культур, отвечая выше указанным требованиям.

Нами был проведен анализ высевяющих аппаратов наиболее часто используемых на посевных машинах (рис. 1).

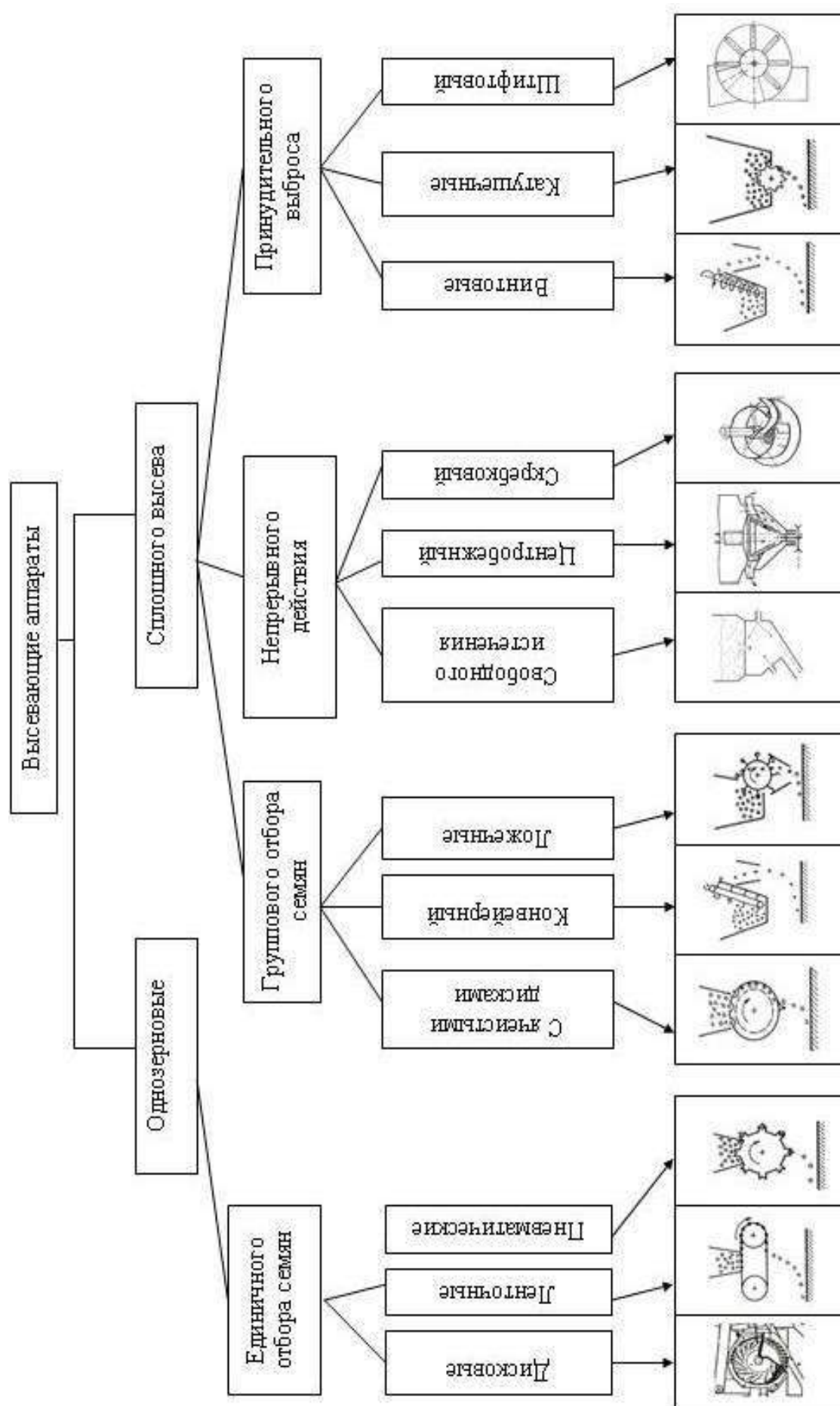


Рис. 1. Классификация высевающих аппаратов

Для сравнения выбраны высевальные аппараты однозернового посева и сплошного посева, которые подразделяются на аппараты единичного отбора семян, группового отбора семян, непрерывного действия и принудительного выброса. Аппараты единичного отбора семян – дисковые, штифтовые, пневматические и другие предназначены для широкорядного посева. Обладая высокой точностью посева при простой технологической схеме, их недостатком является сложность конструктивного исполнения и невозможность применения при обычном рядовом посеве [2].

Высевальные аппараты для сплошного посева делятся на аппараты для группового отбора семян, непрерывного действия и принудительного выброса. Аппараты для группового отбора семян (с ячеистыми дисками, конвейерные и ложечные) обеспечивают достаточно высокую равномерность распределения семян в рядах. Недостатком данных высевальных аппаратов является сложность конструкции и низкий уровень универсальности. Высевальные аппараты непрерывного действия скребковые, конвейерные и свободного истечения характеризуются тем, что у них высокая производительность и универсальность, т.е. возможность дозирования высеваемого материала с различными физико-механическими свойствами в широком диапазоне норм посева, но они имеют низкую устойчивость посева вследствие зависимости от внешних воздействий.

Высевальные аппараты принудительного выброса семенного материала (катушечные, винтовые, штифтовые и др.), обеспечивают практически одинаковое качество работы. Устойчивость посева, долговечность, надежность и удобство обслуживания достигли в основном максимально возможных значений, а повреждение семян сведено к минимуму.

Однако установлено, что катушечные высевальные аппараты и шнековые транспортеры не обеспечивают достаточной равномерности посева. Существенный недостаток этих аппаратов состоит в том, что они высевают семена порциями. В результате семена и растения по длине рядков распределяются неравномерно. Но нужно отметить, что высевальные аппараты шнекового типа в отличие от катушечных и штифтовых, могут высевать семена в более широком диапазоне физико-механических свойств, чем остальные [3].

Проведенный анализ конструкций существующих типов высевальных аппаратов и особенностей их технологических процессов работы показывает, что перспективным направлением является разработка винтовых высевальных аппаратов с принудительной подачей семян к семяпроводам. Но в связи с тем, что в настоящее время данные высевальные аппараты имеют низкую устойчивость посева, то существует необходимость в дальнейших исследованиях этих аппаратов с целью повышения равномерности дозирования семян.

#### Библиографический список

1. Карпенко, А.Н. Сельскохозяйственные машины [Текст] : учебник для вузов / А.Н. Карпенко, В.М. Халанский. – М. : Агропромиздат, 1989. – 527с.
2. Кардашевский, С.В. Высевальные устройства посевных машин [Текст] : учебник для вузов. – М. : Машиностроение, 1973. – 176 с.
3. Крючин, Н.П. Посевные машины. Особенности конструкций и тенденции развития : учебное пособие. – Самара, 2003. – 116 с.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УПРУГИХ ИГЛ ФОРМИРОВАТЕЛЯ ПОТОКА С РАДИАЛЬНЫМ УПОРОМ

*В статье представлена конструкция и технологический процесс работы высевающего устройства с формирователем потока семян щеточного типа для посева трудносыпучих посевных материалов. Приведены результаты исследования влияния радиального упора на процесс рассеивания порции семян.*

*In this article the design and technological process of the seeding device with the brush type suds stream for hard friable seeding is submitted. The results of seeds portions dissipation radial emphasis process influence are resulted.*

В условиях культурного земледелия наличие в посевном материале таких кормовых культур, как козлятник восточный, люцерна и т.п., твердых семян обуславливает одновременное их прорастание в течение длительного времени.

Одним из решений проблемы получения относительно дружных и стабильных всходов исследователи видят в проведении предпосевного замачивания семян. Лучший эффект от этой операции достигается если семена после обработки не высушивать. Однако в этом случае физико-механические свойства семян резко меняются, и они из категории сыпучих переходят в категорию связанных посевных материалов с низкой сыпучестью. Такое состояние семян затрудняет их высев с необходимым качеством существующими посевными машинами.

Исходя из особенностей технологического процесса посева замоченных семян и с учётом анализа высевающих устройств, разработан штифтовый высевающий аппарат с активным формирующим устройством щеточного типа для трудносыпучих семян (рис. 1).

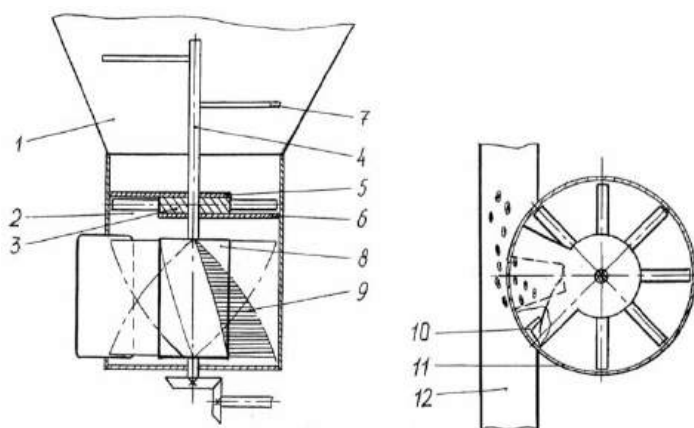


Рис. 1. Высевающий аппарат со щеточным формирователем потока семян

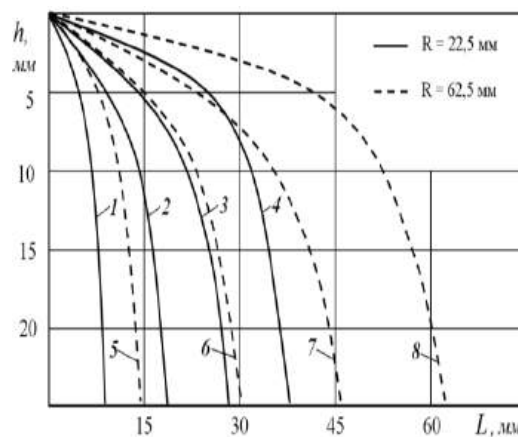


Рис. 2. Траектории движения семян на входе в формирователь потока:

1, 5 –  $n = 10 \text{ мин}^{-1}$ ; 2, 6 –  $n = 20 \text{ мин}^{-1}$ ;  
3, 7 –  $n = 30 \text{ мин}^{-1}$ ; 4, 8 –  $n = 40 \text{ мин}^{-1}$

Конструктивно-технологическая схема данного высевающего устройства представляет собой бункер 1 с высевной щелью 2 в его днище. Внутри бункера 1 установлена катушка 3, выполненная в виде закреплённых на вертикальном валу 4 радиальных пальцев. Днище бункера выполнено из двух отдельных сегментов 5, 6, смещённых друг относительно друга вдоль оси бункера и образующих высевную щель 2. Радиальные пальцы катушки 3 имеют возможность выхода через высевную щель 2 за пределы днища.

С внешней стороны бункера под высевной щелью установлено формирующее устройство в виде закреплённых на катушке 8 упругих игл 9, взаимодействующих с упором 10, расположенном

на корпусе 11 формирующего устройства. К корпусу 11 прикреплено эжекторное вводное устройство 12.

Технологический процесс работы высевающего устройства протекает следующим образом. Из бункера 1 семена благодаря вращению прутков ворошителя 7 и под действием собственного веса подаются в зону забора их штифтами катушки 3, где происходит заполнение межштифтового пространства. Заполнив определённый объём межштифтового пространства, семена подводятся штифтами катушки 3 к высевной щели 2 и затем отдозированными порциями сбрасываются за пределы днища. Сошедшие с днища семена под собственным весом падают в зону работы формирующего устройства, где упругие иглы 9 по мере вращения катушки 8 отводятся от радиального положения упором 10. При дальнейшем повороте вала высевающего аппарата и формирующего устройства происходит высвобождение игл 9 и благодаря своим упругим свойствам они ударяют по порции семян. За счёт расположения игл 9 на катушке 8 по винтовой линии высвобождение игл и их удары происходят последовательно. Тем самым порция полностью разбивается, а все семена, изменив за счёт кинетической энергии игл своё направление движения, подаются в приёмное окно эжекторного устройства 12. Из эжекторного устройства из-за поступающему от вентилятора воздуха они направляются в распределитель и далее в сошники.

Выполнение технологического процесса рассеивания порционного потока семян от высевающего аппарата, возможно при определении оптимальной зоны действия иглы с учётом траектории порции исходного потока.

В результате проведенного теоретического анализа и экспериментальных исследований были определены траектории движения семян от точки сброса их штифтом высевающего аппарата до входа в формирователь потока. На рисунке 2 представлены траектории семян в зависимости от расстояний точек сброса от центра вращения вала аппарата и от его частоты вращения.

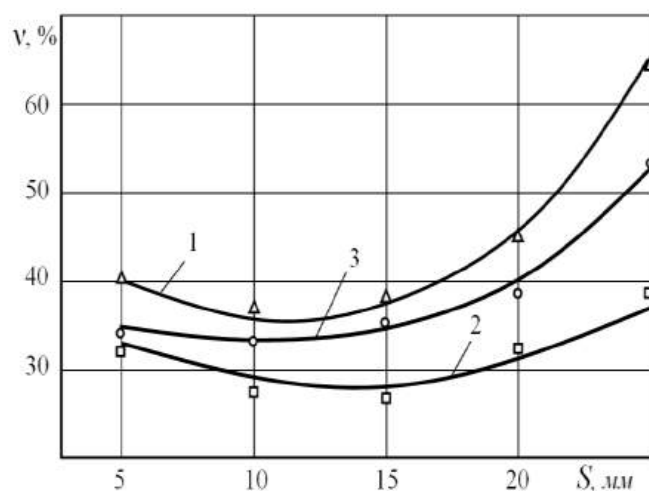


Рис. 3. Влияние расположения упора на равномерность высева:

1 –  $n = 20 \text{ мин}^{-1}$ ; 2 –  $n = 40 \text{ мин}^{-1}$ ; 3 –  $n = 60 \text{ мин}^{-1}$

к ухудшению качества рассеивания порции семян, а, следовательно, и снижению равномерности продольного их распределения.

Для изготовления экспериментального высевающего устройства расстояние от упора до обреза выбросного окна было принято равным 15 мм. При этом значении было получено наименьшее значение коэффициента вариации интервалов между семенами –  $v = 28\%$ .

Было установлено, что на уровне ниже кромки высевного окна на 25 мм дальности полетов семян в диапазоне частот вращения вала высевающего аппарата от 10 до 40  $\text{мин}^{-1}$  находились в пределах от 8 до 63 мм. Этот интервал является определяющим для выбора места расположения радиального упора. Место установки радиального упора и его размеры определялись графическим путем с последующим уточнением на лабораторной установке, по результатам оценки влияния этих параметров на равномерность распределения семян вдоль рядка.

Характер зависимостей (рис. 3) показывает значимость места расположения упора на качество работы формирователя. Отклонения от оптимального расположения, как в меньшую сторону, так и в большую приводят

## АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНЫХ СЕЯЛОК ДЛЯ РЯДОВОГО ВЫСЕВА И ТЕНДЕНЦИИ ИХ РАЗВИТИЯ

*В статье представлены особенности конструкций зарубежных посевных машин влияющих на качество почвы.*

*In clause the features of foreign seeding machines designs influencing on crop quality are presented.*

Одной из важнейших отраслей народного хозяйства является растениеводство. Продукция, получаемая от возделывания сельскохозяйственных культур, применяется в различных сферах человеческой деятельности. При возделывании каждого вида растений необходимо учитывать особые требования, которые для них характерны (например, климатические условия, температура и влажность почвы, её физический и химический состав; глубины заделки семян, ширина между ними; ширина между рядками и т.д.). Отклонение от любого из этих параметров может привести к значительному снижению урожая. Поэтому конструкторы и проектировщики современных посевных машин уделяют внимание не только удовлетворению данных требований, но и стремятся повысить урожайность и качество производимой продукции.

В последние годы на российском рынке появилось большое количество иностранной посевной техники, таких фирм, как “Amazone Werke”, “Horsch”, “Rau” (Германия), “Silky” (Франция), “Kongsild” (Дания), “Farmet” (Чехия), “Noka-Tume” (Финляндия), “Morris” (Канада) и др.

Посевные машины в основном представлены двумя типами с механическими и пневматическими системами высева семян.

Посевные машины с механическим дозированием схожи по своим конструктивным параметрам с российскими аналогами (сеялка СЗ-3,6). Они предназначены для посева зерновых и бобовых культур, а также трав и травосмесей. Основные требования: равномерное распределение семян в рядках; ширина междурядий должна составлять 12,5-15, 18, 21 см. Технологический процесс высева можно совмещается с внесением удобрений [2].

Посевные машины различных стран и фирм отличаются между собой объемом бункера, шириной захвата агрегата, исполнением рабочих органов и их числом, приводу дозирующего аппарата, и т.д. Они оснащены сошниками известных типов: норальниковыми, одно- и двухдисковыми. Чтобы увеличить точность высева, сошники снабжаются катками (для индивидуального прикатывания рядков).

Семейство сеялок HKL фирмы “Noka-Tume” (Финляндия) применяются как с боковым, так и с задним расположением опорных колес. Заднее расположение колес позволяет уменьшить давление на почву и ее уплотняемость, совместить две операции – посев и прикатывание. Помимо этого сеялки имеют вместимый бункер с конусным днищем, что обеспечивает полное опустошение бункера даже при высева мелких семян. В результате комбинации высевающих шестерен сеялки могут иметь около 100 вариантов норм высева семян различных культур. Посевные машины могут оснащаться дополнительным оборудованием. Сеялки серии HKL и HKL-JC могут оборудоваться дисковыми сошниками Laser, с помощью которых можно проводить качественный посев семян после минимальной предпосевной обработки почвы [1].

Семейство сеялок D-9 с механическим высевом фирмы “Amazone Werke” представлено навесными сеялками D-9-30, D-9-40, D-9-60 и прицепным агрегатом D-9-120.

Сеялки Amazone оснащаются норальниковыми килевидными или однодисковыми сошниками. Килевидный сошник WS может оснащаться приставкой для полосного посева с целью повышения равномерности распределения семян по площади посева, а также сменным носком с увеличенной высотой для посева на полях с мульчированной поверхностью.

Однодисковые сошники RoTeC с углом атаки 7° снабжены бороздообразователем из высокопрочного чугуна и быстросъемным и регулируемым по высоте незалипающим опорным диском

из пластика. Для посева в особо тяжелых условиях сеялки могут комплектоваться сошниками с дисками толщиной 4,5 мм и диаметром 400 мм вместо обычных 320 мм.

Навесные сеялки Amazone значительно легче отечественных аналогов и легче в обслуживании основных узлов.

Высевающий аппарат сеялки представлен высевающими катушками "Elite". Высевающие катушки объединяют в себе стандартную высевающую катушку и катушку для мелкосемянных культур [3].

Рядовые сеялки с пневматическим способом распределения семян предназначены для использования на больших площадях и обеспечивают: высокую скорость, хорошее копирование почвы, быстрое складывание в транспортное положение, хорошо доступный бункер для заправки зерном. Для облегчения заправки бункера в некоторых сеялках предусмотрены шнеки. Ширина захвата сеялок достигает 18 м [2].

Пневматическая сеялка имеет более сложную, чем у механических сеялок, конструкцию и при равной ширине захвата (12,4 м) примерно на 20% более высокую стоимость. В пневматических сеялках применяются системы с общим дозированием типа Accord и с индивидуальным — типа Roger. Некоторые фирмы после модификации системы Accord называют их Fenix (Vaderstad) и Venta (Kuhn-Huad) [3].

Типичным примером централизованной пневматической системы зерновой сеялки является система компании "Lely". Семена из бункера попадают на общий дозатор катушечного типа, подхватываются потоком воздуха, который создается вентилятором, и по центральной колонне направляются на распределительную головку, где, отражаясь от ее крышки, распределяются по семяпроводам, идущим к сошникам. Центральная колонна имеет турбулизатор, изготовленный в виде колец, или гофр на внутренней поверхности центральной колонны. От его действия в большой степени зависит равномерность распределения по сошникам. При необходимости часть зернопроводов может быть перекрыта, а семена возвращены в бункер. Катушечный дозатор, как правило, — комбинированный: одна часть катушки имеет желобки для крупных семян, другая — для мелких.

Дозатор имеет привод от опорных колес сеялки или от специального приводного колеса с шипами. Катушка дозатора позволяет изменять нормы высева от 2 до 400 кг/га [1].

Широкозахватная пневматическая сеялка Newer Pin с шириной захвата 8,56-12,2 м канадской фирмы Morris оснащается комбинированными дисковыми сошниками с разновеликими дисками и индивидуальными катками. Она может осуществлять посев с внесением удобрений глубже уровня расположения семян. В конструкции сошников предусмотрена взаимного расположения дисков и катков в зависимости от того, на каком фоне работает сеялка — на взрыхленной стерне или на необработанной почве [3].

Фирмой "Kongsilde" (Дания) представлено семейство универсальных сеялок MS в зерновой и MS в зернотуковой модификациях. Сошниковая группа в этих сеялках состоит из блоков, включающих в себя рамку, два опорных катка, четыре однодисковых сошника: два задних с обычными дисками и два передних — с вырезными. Положение опорных катков регулируется индивидуально для каждого блока с помощью гидроцилиндров с выравнивающим устройством.

Благодаря большому количеству колес с надувными шинами сеялки MS могут применяться на мульчированных и открытых полях с разными типами почв, на неровном рельефе и перекапываться по препятствиям [1].

Конструкции комбинированных машин различаются высевающими системами, почвообрабатывающими рабочими органами и их комбинациями, основными параметрами: шириной захвата, массой, вместимостью бункера, элементами управления и обслуживания, дизайном. Комбинированные машины так же, как и сеялки оснащаются механическими и пневматическими высевающими системами, навесными сеялками и посевным оборудованием, которое может быть использовано в машинах нескольких фирм [2].

Почвообрабатывающие орудия имеют рабочие органы активного (фреза) или пассивного действия (лаповые и ротационные).

Чешская фирма "Farmet" представила комбинированную машину Excelent. Ее конструкция последовательно включает секционный планировщик, передний каток с широкими шинами

атмосферного давления, три ряда культиваторных сошников, трехрядковое прутковое разравнивающее устройство и задний каток. Бункер размещен над рабочими органами и состоит из двух частей. Объем бункера для семян 2 и 3 м<sup>3</sup>, а бака для удобрений — от 0,4 до 1,2 м<sup>3</sup>. Бак выполнен из нержавеющей стали. Высевающая система — пневматическая, ширина захвата 3; 4; 4,5; 6; 8 и 9 м для агрегатирования с тракторами мощностью 105-300 л.с.

Рабочие органы при расстановке на ширину междурядий 25 см осуществляют двухстрочный посев с внесением жидких удобрений между строчками глубже уровня расположения семян, расстояние между которыми 15 см. Возможен полосный и безрядковый посев. Для внесения удобрений сошник дополняется подкормочным ножом шириной 15 мм. Процесс контролируется электронной системой с изображением его параметров на дисплее [3].

Комбинированная машина Idea польской фирмы "Kraj Uma" имеет почвообрабатывающий блок с двухрядным расположением вырезных дисков на индивидуальных подпружиненных подвесках, два ряда дисковых сошников и каток. Высевающая система — механическая [1].

Более сложную конструкцию представляет комбинированный агрегат этой же фирмы с почвообрабатывающей машиной Mars 4D, которая выравнивает поверхность поля, дробит почву катком диаметром 400 мм, рыхлит стрельчатыми лапами, еще раз выравнивает балкой и дополнительно дробит выровненную поверхность кольчато-шпоровым катком. Для посева с шириной междурядий 12 см предусмотрена навешиваемая на Mars 4D сеялка Polonez 4. Агрегат может дополняться разбрасывателем удобрений, который навешивается спереди трактора. По данным производителя, за счет совмещения операций агрегат дает возможность получения 10% прибавки урожая и экономии 25% топлива [3].

Германская фирма "Rabe" выпускает пневматическую комбинированную машину Mega Seed в модификациях с шириной захвата 3; 4; 4,5 и 6 м. Почвообрабатывающая часть включает двухрядный дисковый рыхлитель с вырезными дисками, однодисковые сошники, каток и однорядное прутковое разравнивающее устройство.

Машина Multi Drill фирмы "Rabe", включающую ротационную борону и посевную приставку Multi Drill eco-line с механической или turbo drill с пневматической высевающей системой, а также с автономной механической навесной сеялкой (с шириной захвата 2,5; 3 и 4 м) [3].

Фирма "Amazone Werke" предлагает комбинированные машины Cirrus и Avant, а также большую номенклатуру составных комбинированных машин, включающих ротационную борону и навесную сеялку или посевное оборудование с механической или пневматической высевающими системами [3].

Несмотря на большое многообразие зарубежных посевных машин, у многих из них просматриваются закономерные недостатки. Стоимость посевных машин значительно выше отечественных аналогов. Для агрегатирования многих широкозахватных и комбинированных агрегатов, необходимо использовать трактора высокой мощности (до 500 л.с.). Рабочие органы ряда машин непригодны к работе в российских природно-климатических зонах.

Решением данных проблем может послужить, совместная работа зарубежных и отечественных конструкторов, по созданию новых адаптированных к российским условиям посевных машин, за счет повышения урожайности, уменьшение себестоимости продукции, уменьшение трудовых и энергозатрат, а так же оптимизации параметров рабочих органов.

#### Библиографический список:

1. Ананьев, В.В. Тенденции развития сельскохозяйственной техники за рубежом. — М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2000. — С. 144.
2. Крючин, Н.П. Посевные машины. Особенности конструкций и тенденции развития. — Самара, 2003. — С. 116.
3. Любушко, Н.И. Машины для посева зерновых культур на "Золотой осени — 2005" / Любушко Н.И., Зволинский В.Н. // Тракторы и сельскохозяйственные машины — 2006. — №4. — С. 100.



## СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА РАССЕЙВАНИЯ СЕМЯН

*Рассмотрено движение семян в высевальной системе с использованием теории статистической динамики. Получены и проанализированы корреляционные функции и спектральные плотности процесса рассеивания семян.*

*The seeds movement in seeding system with use of the statistical dynamics theory is considered. Correlation functions and spectral density of seeds dispersion process are received and analysed.*

Детерминистические методы исследования дозирующих устройств не позволяют установить неравномерность создаваемого ими потока в каждый отдельный момент времени. Ещё более случайный характер принимает поток семян в результате прохождения через формирователь [1]. Поэтому рассмотрение движения семян необходимо производить с использованием теории статистической динамики, разработанной профессором А.Б. Лурье для сельскохозяйственных агрегатов.

В результате высева замоченных семян козлятника восточного на липкую ленту получили отрезки реализаций процесса рассеивания семян на входе в формирователь потока  $Q(t)$  и на его выходе  $Q_B(t)$  на протяжении времени  $T_B = 4$  с. В качестве показателя, оценивающего равномерность распределения семян, принималось количество семян, высеянных на односантиметровый отрезок ленты. Эксперименты проводились с использованием упругих элементов различной жёсткости.

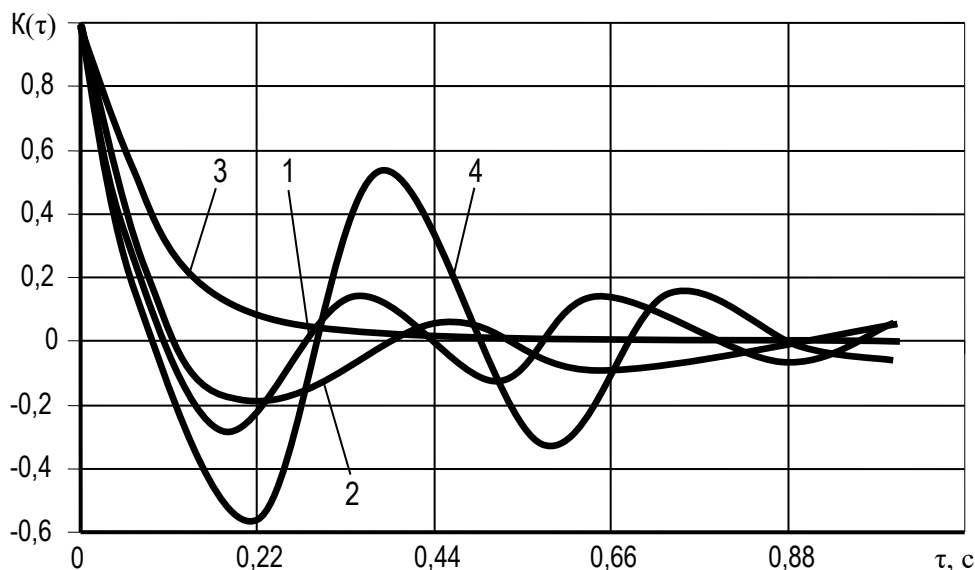


Рис. 1. Корреляционные функции входного и выходных процессов для жёсткости: 1 – 215, 2 – 250, 3 – 285 Н/м

Нашли значения корреляционной функции для входного и выходных процессов (рис. 1), используя компьютерную программу «STADIA». Для сглаживания незакономерных колебаний экспериментально найденных корреляционных функций, произвели их аппроксимацию.

Входная функция при некотором значении  $\tau$  пересекает ось абсцисс и далее колеблется около этой оси с постепенным затуханием. Такой характер кривой свидетельствует о малой случайности и наличии в процессе высокой периодичности, возникающей вследствие порционности высева семян штифтовым высевальным аппаратом. Формы кривых выходного процесса при установке упругих элементов жёсткостью 215 и 250 Н/м также указывают на присутствие гармонических составляющих, которые, однако, менее выражены, чем при входном процессе. Причём выходной процесс, описываемый кривой 1 характеризуется меньшей случайностью и более высокой периодичностью, чем процесс, описываемый кривой 2. Выходной процесс при установке упругих

элементов с жёсткостью 285 Н/м можно отнести к процессам с сильно выраженной случайностью, так как связь между соседними ординатами убывает интенсивнее, о чём свидетельствует более пологая форма кривой 3.

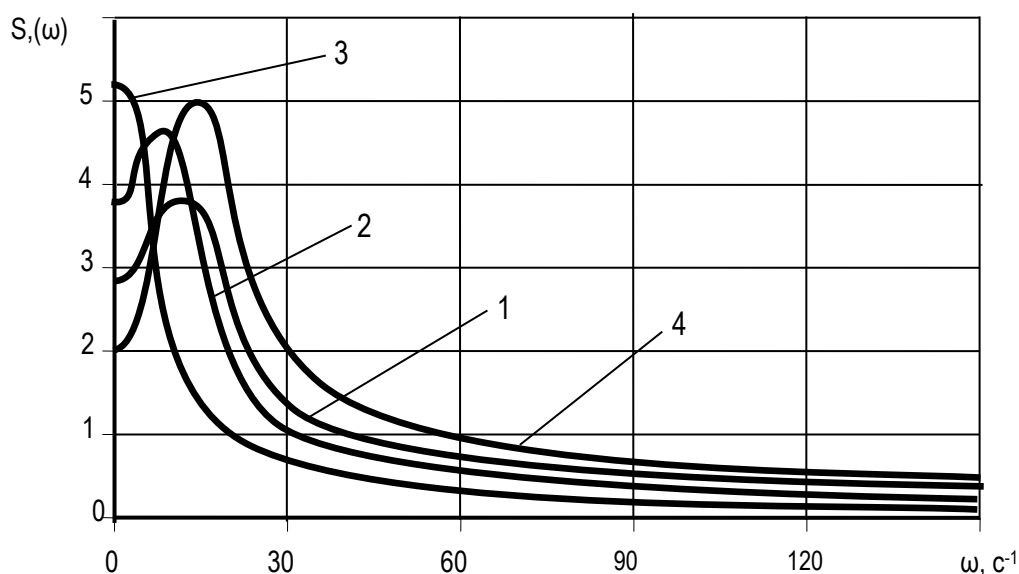


Рис. 2. Графики нормированных спектральных плотностей входного 4 и выходных процессов для жёсткости: 1 – 215 Н/м; 2 – 250 Н/м; 3 – 285 Н/м

Данные выводы были подтверждены и в результате спектрального анализа (рис. 2). Как видно из графиков, спектральные плотности входного процесса 4, а также выходных процессов 1 и 2 обнаруживают ярко выраженные максимумы в области соответствующих им частот  $\omega = \beta$ . При этом частоты составляющих гармоник входной случайной функции близки к частотам  $\omega_k^1$  высева связных групп семян штифтами высевающего аппарата:

$$\omega_k = \omega_k \cdot Z_k = 2\pi n_k Z_k,$$

где  $\omega_k$  – угловая скорость штифтовой катушки, рад/с;

$n_k$  – частота вращения катушки, с<sup>-1</sup>;

$Z_k$  – количество штифтов в катушке,  $Z_k=8$ .

Как известно, спектральная плотность процесса есть плотность распределения дисперсий по частотам. Поэтому, чем меньше дисперсия и чем меньше среднее значение частоты случайных колебаний, тем равномернее процесс и, следовательно, выше равномерность высева семян.

В спектральной плотности выходного процесса (3) рассеивания потока семян, преобладают низкие частоты, что приближает данное распределение к равномерному с частотой, стремящейся к нулю.

Статистический анализ процесса рассеивания семян показал, что предложенная конструкция формователя потока позволяет преобразовать входной процесс, характеризующийся малой случайностью и высокой периодичностью, в выходной случайный процесс с периодичностью, стремящейся к нулю, и способствует созданию равномерного, устойчивого во времени потока семян.

#### Библиографический список

1. Вдовкин, С.В. Обоснование параметров штифтового рассекателя высевающего аппарата // Актуальные проблемы сельскохозяйственной науки и образования : сб. научных трудов. – Самара, 2005. – С. 92-95.

## ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА

Проведены теоретические исследования влияния конструктивно-технологических параметров на процесс высева. По результатам теоретических исследований получили зависимости нормы высева от общего передаточного отношения механизма привода высевающего аппарата и частоты вращения диска.

The theoretical researches of design data-technological influence seeding process are carried out. By results of theoretical researches seed quantity dependences have received from the general transfer attitude of the mechanism of a seeding device drive and frequency of disk rotation.

Анализ существующих высевающих аппаратов и различных устройств для высева семян показывает, что одним из перспективных направлений повышения производительности сеялок на посевах и увеличения равномерности распределения семян в рядке является разработка ленточно-дисковых высевающих аппаратов. Они позволяют отбирать из общей массы семян определенное количество и транспортировать его к высевающей воронке, а так же за счет уплотнения семян формировать равномерный исходный поток. Качество исходного потока во многом зависит от конструктивно-технологических параметров высевающего аппарата, поэтому их теоретическое обоснование оптимальных параметров имеет определяющую роль.

Поперечное сечение кольцевого канала 2 по ободу диска 1 (рис. 1) выполнена в виде полуокружности с радиусом  $r(t)$ , поэтому его площадь:

$$S(t) = S_0 = 0,5\pi r_k^2 = \text{const} \quad (1)$$

где  $r_k$  – радиус кольцевого канала, мм.

Выбор полукруглой формы сечения кольцевого канала обосновывается тем, что любая другая форма сечения (треугольная, прямоугольная, трапецевидная) имеет углы, в которых могут застревать и травмироваться семена.

Оптимальное заполнение кольцевого канала обеспечивает бесперебойное движение семян в камере захвата, при этом, должно соблюдаться условие:

$$C_k \geq 3\delta_{\max}, \quad (2)$$

где  $C_k$  – ширина камеры захвата, мм;  
 $\delta_{\max}$  – наибольший размер семян, мм.

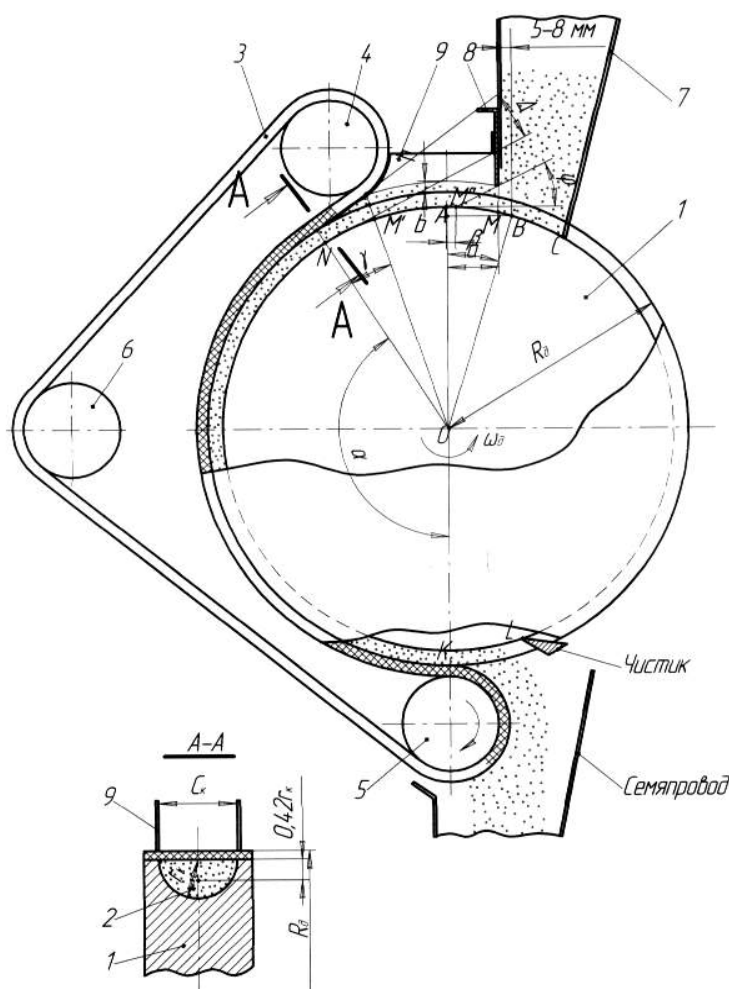


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема высевающего аппарата

Для исключения самопроизвольного истечения семян из бункера по кольцевому каналу диска в канал пневмотранспортера, при выключенном высевальном аппарате, стенка бункера 7 (рис. 1), несущая заслонку 8, должна быть смещена относительно вертикального диаметра в направлении, противоположном его вращению, на величину:

$$a \geq (h + r_k) \operatorname{tg} \varphi + b, \quad (3)$$

где  $h$  – максимальная толщина слоя семян между ободом диска и кромкой заслонки, мм;

$\varphi$  – угол естественного откоса семян, град;

$b = 0,010 \div 0,015$  – отрезок установленный экспериментально и компенсирующий некоторое уменьшение угла  $\varphi$  в результате тряски сеялки при движении, мм.

Минимальный радиус диска, который транспортирует семена к ленте:

$$R_{\partial} = \frac{a + 8 - r_k \sin \beta}{\sin \beta} \quad (4)$$

После подстановки значений  $S_0$  и  $v_{II}$  получим секундный расход семян  $\Pi_{t=1}$  по формуле:

$$\Pi_{t=1} = \frac{\pi}{2} K_y \cdot \rho \cdot r_k^2 \cdot \omega_{\partial} (R_{\partial} - 0,42 r_k), \quad (5)$$

где  $K_y$  – коэффициент уплотнения;

$\rho$  – насыпная объемная масса семян;

$\omega_{\partial}$  – угловая скорость диска;

$R_{\partial}$  – радиус диска.

В результате математических преобразований найдем для заданной нормы высева угловую скорость вращения диска:

$$\omega_{\partial} = \frac{2 \cdot 10^{-4} B_c v_c N_b}{\pi \cdot K_y \rho \cdot r_k^2 (R_{\partial} - 0,42 r_k)} \quad (6)$$

Если принять как постоянные для данных условий параметры  $r_k = 5$  мм,  $R_{\partial} = 112$  мм,  $K_y = 1,3$ ,  $\rho = 0,645$  кг/м<sup>3</sup>, то формулу (6) можно представить в виде

$$\omega_{\partial} = 0,0026 B_c v_c N_b \quad (7)$$

Точка К участка сброса семян должна располагаться непосредственно на вертикальной осевой линии высевального диска или правее нее (рис. 1), что обеспечивает “запирание” кольцевого канала и сводит к минимуму возможность самопроизвольного истечения семян из полости канала при работе на малых нормах высева (малой частоте вращения диска) или при остановках.

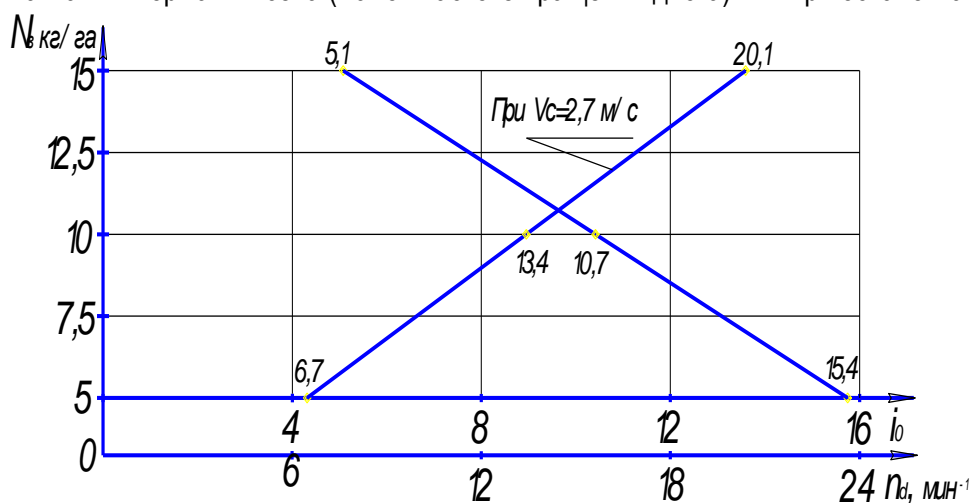


Рис. 2. График зависимости нормы высева от общего передаточного отношения механизма привода высевального аппарата и частоты вращения диска

Минимальная длина участка сброса  $L_{KL}$  должна быть достаточной для полного опорожнения канала под действием сил тяжести. Исходя из этого условия, ее можно определить по формуле:

$$L_{KL} = \frac{\pi D n}{60} \sqrt{\frac{2r_k}{g}}, \quad (8)$$

где  $D$  – диаметр диска, м;

$n$  – максимальная частота вращения диска, мин<sup>-1</sup>;

$r_k$  – радиус кольцевого канала, м;

Функция  $N_e = f(n_d)$  (рис. 2) выражает прямую пропорциональность при заданных значениях рабочей скорости сеялки  $v_c$ .

Функция  $N_e = f(i_0)$  выражает закон обратной пропорциональности, имеет линейный характер и не зависит от скорости движения сеялки.

По результатам теоретических исследований получены зависимости и аналитические выражения по оценке влияния основных конструктивно-технологических параметров высевающего аппарата на процесс подачи и равномерность высева.

#### Библиографический список

1. Видинеев, Ю.Д. Дозаторы непрерывного действия. – М. : Энергия, 1978.
2. Зенков, Р.Л. Механика насыпных грузов. – М. : Машгиз., 1952. – 215 с.

УДК 633.331.022

Крючин Н.П. д.т.н., профессор; Котов Д.Н. к.т.н.; Сафонов С.В. инженер

## АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ТРУДНОСЫПУЧИХ СЕМЯН ШТИФТАМИ ДИСКОВО-ШТИФТОВОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА

*В статье представлены теоретические исследования процесса транспортирования трудносыпучих семян рядами штифтов дисково-штифтового высевающего аппарата.*

*In clause the theoretical researches of transportation process hard-shifting seeds by of the disk-pins seed-ing device rows are presented.*

Анализ существующих высевающих аппаратов и устройств для высева трудносыпучих семян показывает [1], что наиболее целесообразным является использование в них активных рабочих органов, позволяющих выполнять отбор и принудительное транспортирование связанного семенного материала.

С целью решения проблемы высева трудносыпучих семян был разработан дисково-штифтовый высевающий аппарат [2], основными конструктивными элементами которого являются подвижные штифты.

Для анализа взаимодействия штифтов с высеваемым материалом и определения условия безразрывного транспортирования всего объема семян, воспользуемся основными положениями механики насыпных грузов [3].

В пространстве между штифтами (рис. 1), был выделен элементарный объем высотой  $dh$  и рассмотрено его сложнапряженное состояние. На каждую грань этого элементарного объема действуют касательные  $\tau_{xy}$  и нормальные напряжения  $\sigma_y$ ,  $\sigma_n$ . Линия  $ab$  элементарного объема принадлежит свободной поверхности сыпучего тела и поэтому условие равновесия запишется в виде:

$$P_{\partial\partial} = 2F_{тр.ш.} + F_{тр.д.}, \quad (1)$$

где  $P_{\partial\partial}$  – сила бокового давления элементарного объема, Н;

$F_{тр.ш.}$  – сила трения о поверхность штифта, Н;

$F_{тр.д.}$  – сила трения о поверхность высевающего диска, Н.

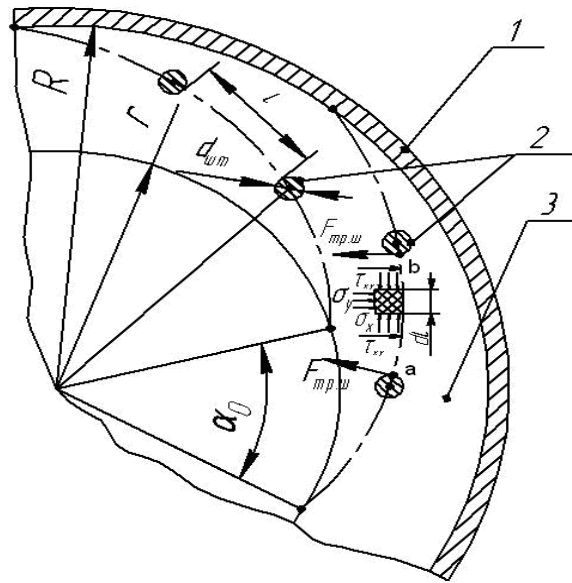


Рис. 1. Схема сил, действующих на элементарный объем: 1 – корпус;  
2 – подвижные штифты; 3 – высевающий диск

Силу трения о поверхность высевающего диска найдем из выражения:

$$F_{тр.д.} = \sigma_n \cdot S_{ми} \cdot f_{тр}, \quad (2)$$

где  $\sigma_n = \gamma \cdot g \cdot h$  – нормальное давление семян на диск, Па;

$S_{ми}$  – площадь пространства между рядами штифтов, м<sup>2</sup>;

$f_{тр}$  – коэффициент трения покоя высеваемого материала о поверхность высевающего диска.

Сила бокового давления выделенного элемента определяется по соотношению:

$$P_{од} = \int_0^h \int_0^l \varepsilon_1 \cdot \gamma \cdot g \cdot h \cdot dh \cdot dl = \varepsilon_1 \cdot \gamma \cdot g \cdot \frac{h^2}{2} \cdot l = \frac{1}{2} \varepsilon_1 \cdot \gamma \cdot g \cdot h^2 \cdot l, \quad (3)$$

где  $h$  – высота слоя семян, м;

$l$  – расстояние между штифтами, м;

$\sigma_y = \varepsilon_1 \cdot \sigma_n$  – боковое давление, Па;

$\varepsilon_1$  – коэффициент бокового давления, принимаемый постоянной величиной.

Сила трения выделенного элементарного объема о поверхность штифта определяется по выражению:

$$F_{тр.ш.} = \sigma_0 \cdot S_{шт} \cdot f_n, \quad (4)$$

где  $\sigma_0$  – давление высеваемого материала на штифт, Па;

$S_{шт}$  – площадь поверхности штифта, взаимодействующей с высевающим материалом, м<sup>2</sup>;

$f_n$  – коэффициент трения покоя высеваемого материала о поверхность штифта.

$$S_{шт} = \frac{\pi \cdot d_{шт} \cdot h_0}{2}, \quad (5)$$

где  $h_0$  – высота штифта, м;

$d_{шт}$  – диаметр штифта, м.

Давление высеваемого материала на штифт определяется с учетом того, что боковое давление по всему сечению бункера остается неизменным.

Принимая на основании этого давление  $\sigma_0$  на штифт по сечению постоянным, получим равенство:

$$\sigma_0 \cong \sigma_n \cdot m, \quad (6)$$

где  $m = 1 + 2f_e^2 - 2f_e \sqrt{1 + f_e^2}$  – коэффициент подвижности материала;

$f_e$  – коэффициент внутреннего трения высеваемого материала.

Тогда, подставляя найденные выражения в формулу (4), получим:

$$F_{mp.ш.} = \gamma \cdot g \cdot h \cdot m \frac{\pi \cdot d_{um} \cdot h_0}{2} \cdot f_n. \quad (7)$$

После соответствующих преобразований, окончательно запишем условие безразрывного транспортирования высеваемого материала рядами штифтов с учетом ранее полученных выражений:

$$\pi \cdot m \cdot f_n \cdot d_{um} \cdot h_0 + \frac{f_{mp}(R^2 - r^2) \cdot \alpha_0}{2} \geq \frac{1}{2} \varepsilon_1 \cdot h \cdot l. \quad (8)$$

С учетом полученного условия безразрывного транспортирования высеваемого материала рядами штифтов можно определить минимальное количество штифтов в ряду:

$$n = \frac{L}{l} - 1, \quad (9)$$

где  $n$  – число штифтов в ряду, шт;

$L$  – длина участка логарифмической спирали, м.

$$L = (R - r) \sqrt{1 + k^{-2}}. \quad (10)$$

Расстояние между штифтами определяем из условия (8):

$$l \leq \frac{2\pi m f_n d_{um} h_0 + f_{mp}(R^2 - r^2) \alpha_0}{\varepsilon_1 h}. \quad (11)$$

Подставляя выражения (10) и (11) в формулу (9) получаем:

$$n = \frac{\varepsilon_1 h \sqrt{1 + k^{-2}} (R - r)}{2\pi m f_n d_{um} h_0 + f_{mp}(R^2 - r^2) \alpha_0} - 1. \quad (12)$$

Из анализа процесса транспортирования трудносыпучих семян штифтами дисково-штифтового высевающего аппарата можно сделать вывод, что захват и безразрывное транспортирование связанной массы семян рядами штифтов будет осуществляться при выполнении условия (8) и минимальном количестве штифтов в ряду определенном по выражению (12). В свою очередь минимальное количество штифтов, согласно выражению (12), будет зависеть как от геометрических параметров высевающего аппарата –  $R$ ,  $r$ ,  $\alpha_0$ , так и от физико-механических свойств семян, и от параметров самого штифта –  $d_{um}$  и  $h_0$ .

#### Библиографический список

1. Крючин, Н.П. Совершенствование посева фитомелиорантов при рекультивации почв загрязненных нефтепродуктами / Н.П. Крючин, С.В. Сафонов // Актуальные проблемы сельскохозяйственной науки и образования. – 2005. – №3. – С. 207-210.
2. А.с. 2288564 (RU) Высевающий аппарат / Н.П. Крючин, Ю.В. Ларионов, А.М. Петров, С.В. Сафонов.
3. Зенков, Р.Л. Механика насыпных грузов. – М. : Машиностроение, 1952. – 215 с.



## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИСКОВО-ШТИФТОВОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА

*В статье представлены результаты лабораторных исследований по определению качественных показателей работы дисково-штифтового высевающего аппарата при высеве семян костреца прямого.*

*In clause the laboratory researches results disk pins seeding device work quality indicators definition are presented Bromus inermis Leyss for seeding.*

Для определения качественных показателей работы дисково-штифтового высевающего аппарата [1], были проведены экспериментальные исследования на высеве семян костреца прямого, в результате которых были выявлены конструктивно-режимные параметры и установлены их значения.

Анализ технологического процесса работы дисково-штифтового высевающего аппарата показал [2], что наибольшее влияние на подачу семенного материала при неизменной величине рабочей части штифта равной 10 мм, оказывают: частота вращения высевающего диска, высота подковырькового пространства, количество рядов штифтов и количество штифтов в ряду.

В процессе исследования значимые факторы изменялись в следующих диапазонах:

$h$  – высота подковырькового пространства ( $h = 12, 14, 16, 18$  мм);

$p$  – количество рядов штифтов ( $p = 8, 12, 16$ );

$m$  – количество штифтов в ряду, ( $m = 1, 2, 3, 4$ );

$n$  – частота вращения высевающего диска.

Выбор пределов варьирования исследуемых факторов, определялся поисковыми экспериментами, в ходе которых отмечалось, что отклонение от представленных пределов в меньшую или большую сторону приводило к нарушению технологического процесса работы дисково-штифтового высевающего аппарата.

Результаты экспериментальных исследований по изучению влияния количества штифтов в ряду и величины подковырькового пространства на подачу семенного материала представлены в виде графических зависимостей на рисунке 1. Из которых видно, что при увеличении количества штифтов в ряду от  $m = 1$  до  $m = 3$  подача семенного материала значительно возрастает при различной величине подковырькового пространства, однако при установке четвертого штифта в ряду, подача оставалась практически неизменной.

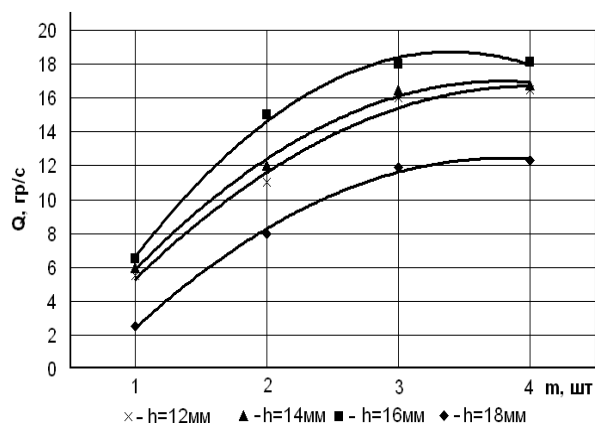


Рис. 1. Зависимость влияния количества штифтов в ряду и величины подковырькового расстояния на подачу семенного материала

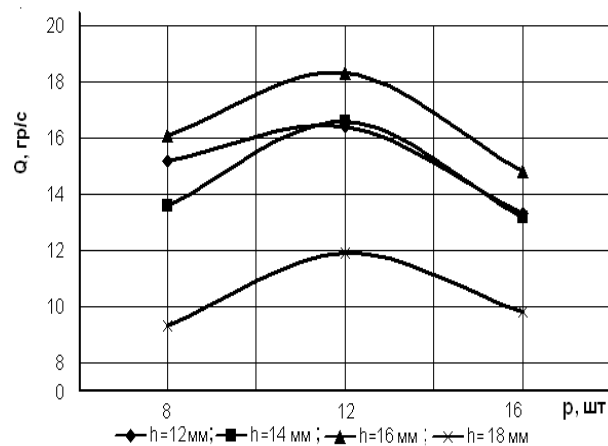


Рис. 2. Зависимость подачи от количества рядов штифтов и величины подковырькового расстояния на подачу семенного материала

Из анализа графических зависимостей представленных на рисунке 2 видно, что при изменении количества рядов штифтов от  $p = 8$  до  $p = 12$  подача семян возрастает. А при увеличении количества рядов штифтов до  $p = 16$  подача уменьшается, это объясняется повышением вероятности сводообразования семян из-за уменьшения расстояния между рядами штифтов на высевающем диске.

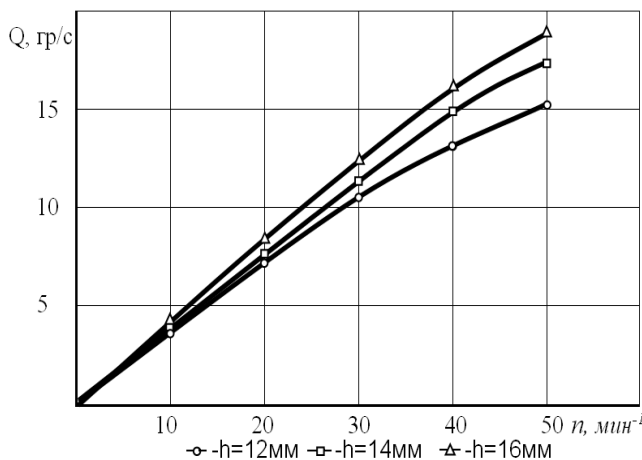


Рис. 3. Зависимость подачи от частоты вращения высевающего диска

Также из приведенных зависимостей (рис. 1, рис. 2) видно, что при изменении высоты подковырькового пространства от 12 до 16 мм наблюдается плавное возрастание секундной подачи семян высевающим аппаратом, но при значении высоты подковырькового пространства  $h = 18$  мм отмечено некоторое снижение секундной подачи. Данное явление связано с тем, что из-за связанности семенной массы костреца прямого при данных параметрах высевающего аппарата снижается разрушающе-ворошащее действие штифтов.

Экспериментальные исследования по изучению влияния частоты вращения высевающего диска на подачу высеваемого мате-

риала проводились при различных размерах подковырькового пространства.

Из полученных зависимостей (рис. 3) видно, что в диапазоне частот от 0 до 40 мин<sup>-1</sup> при всех величинах подковырькового пространства наблюдалась линейная зависимость подачи от частоты вращения.

При увеличении частоты вращения свыше 40 мин<sup>-1</sup>, линейная зависимость нарушалась в сторону уменьшения секундной подачи посевного материала. Таким образом, изменение частоты вращения высевного диска в пределах от 0 до 40 мин<sup>-1</sup> может служить интервалом для установки нормы высева высевающего аппарата.

В результате проведения лабораторных исследований установлено, что стабильная и устойчивая подача семян костреца прямого дисково-штифтовым высевающим аппаратом осуществляется высевающим диском с количеством рядов штифтов  $p = 12$ , количеством штифтов в ряду  $p = 3$ , величине подковырькового пространства  $h = 14-16$  мм, в диапазоне частот вращения высевающего диска  $n = 0-40$  мин<sup>-1</sup>.

#### Библиографический список

- 1 А.с. 2288564 (RU) Высевающий аппарат / Н.П. Крючин, Ю.В. Ларионов, А.М. Петров, С.В. Сафонов.
- 2 Крючин, Н.П. Разработка высевающего устройства сеялки для трудносыпучих посевных материалов. / Н.П. Крючин, С.В. Сафонов // Известия Самарской ГСХА. – 2006. – №3. – С. 75-76.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДОЗИРОВАНИЯ СЕМЯН ВЫСЕВАЮЩИМ АППАРАТОМ С ЭЛАСТИЧНЫМ ДИСКОМ

*Проведены теоретические исследования и получена математическая модель высева в виде уравнений, связывающих между собой конструктивные и режимные параметры с учетом физико-механических свойств высеваемого материала. В результате анализа полученных аналитических уравнений определены основные факторы, влияющие на движущийся семенной поток.*

*Theoretical researches carried out and the mathematical model of seeding seed-constructions as the equations connecting among and regime parameters in view of physicomachanical properties of seeding material is received. As a result of the received analytical equations analysis the major factors, influencing the seed moving stream are determined.*

Анализ существующих конструкций дозирующих устройств показал, что одним из наиболее перспективных направлений повышения производительности сеялок на посеве мелкосеменных культур и увеличения равномерности распределения семян в рядке является разработка высевающего аппарата с эластичным высевающим диском. Такой аппарат позволяет обеспечить непрерывную подачу семенного материала от бункера к приемной воронке семяпровода, а также за счет уплотнения семян, формировать равномерный исходный поток, при этом травмируемость семян исключается за счет наличия упругих боковых стенок семенной камеры.

Исходя из картины взаимодействия семян с рабочими органами высевающего аппарата, весь технологический процесс дозирования можно разделить на следующие четыре этапа:

- истечение семян из выгрузной горловины бункера в открытую камеру диска;
- движение семян в открытой семенной камере диска (или камере захвата);
- движение семян, находящихся в закрытой камере;
- движение семян при освобождении от воздействия камеры – выгрузка семян из высевающего аппарата.

Исходя из данных условий, подача на первом этапе будет обусловлена геометрическими параметрами загрузной горловины бункера (рис. 1, а; 1, б):

$$Q_1 = ab \cdot \sqrt{\frac{ga}{2tg\alpha}},$$

где  $a, b$  – размеры поперечного сечения выпускного отверстия бункера;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\alpha$  – угол между вертикалью и стенкой бункера.

При этом должно соблюдаться условие:

$$\alpha < 90^\circ - \varphi - \psi - \beta,$$

где  $\varphi$  – угол внешнего трения между семенами и стенками бункера;  $\psi$  – угол внутреннего трения семян;  $\beta$  – угол давления семян друг на друга, т.е. угол между вертикалью и общей нормалью к семенам в точке их соприкосновения.

Из условия стабильной работы высевающего аппарата необходимо выполнение условия:

$$Q_2 = Q_3,$$

где  $Q_2$  и  $Q_3$  – подача на втором и третьем этапе соответственно.

Однако это условие будет справедливо после прохождения элементом сыпучего материала пути, после которого он приобретет скорость семенной камеры диска (рис. 2):

$$S_2 = V_0 \cdot t_2 + \frac{f_c \cdot g \cdot t_2^2}{2},$$

где  $V_0$  – начальная скорость движения элемента;  $t_2$  – время ускоренного движения элемента семян;  $f_c$  – коэффициент трения семян о стенки семенной камеры.

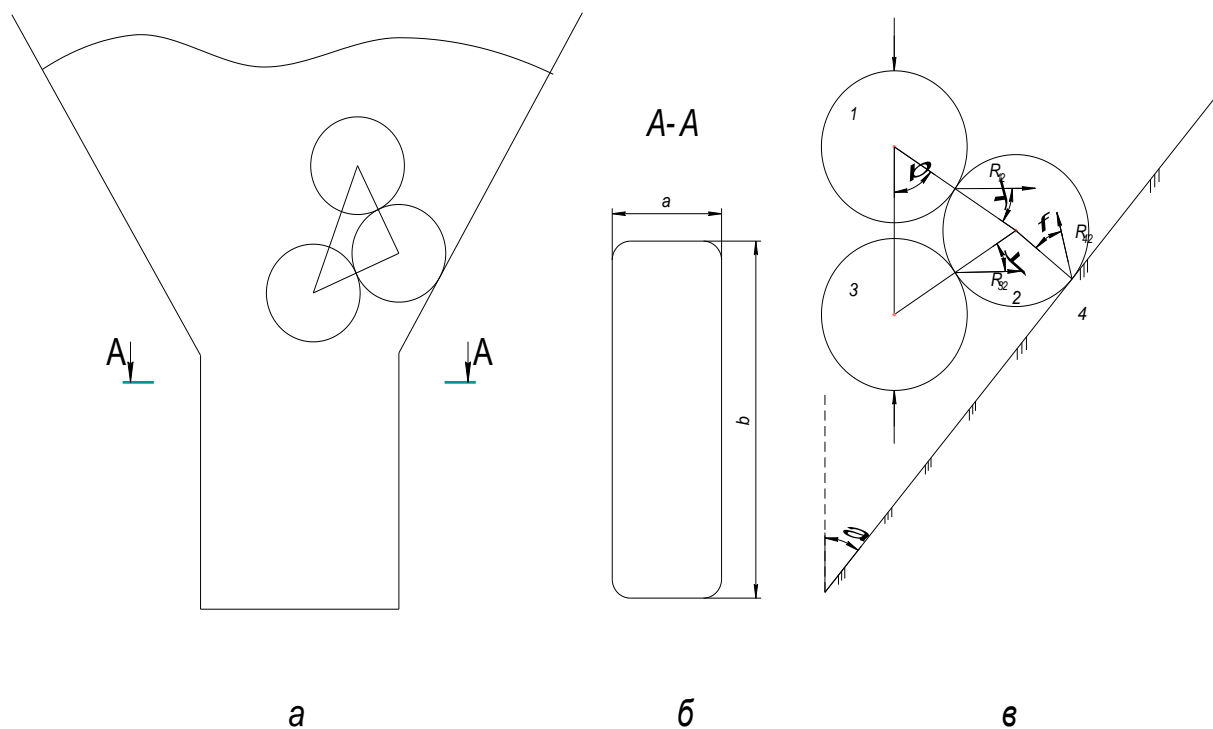


Рис. 1. Схема бункера с семенами

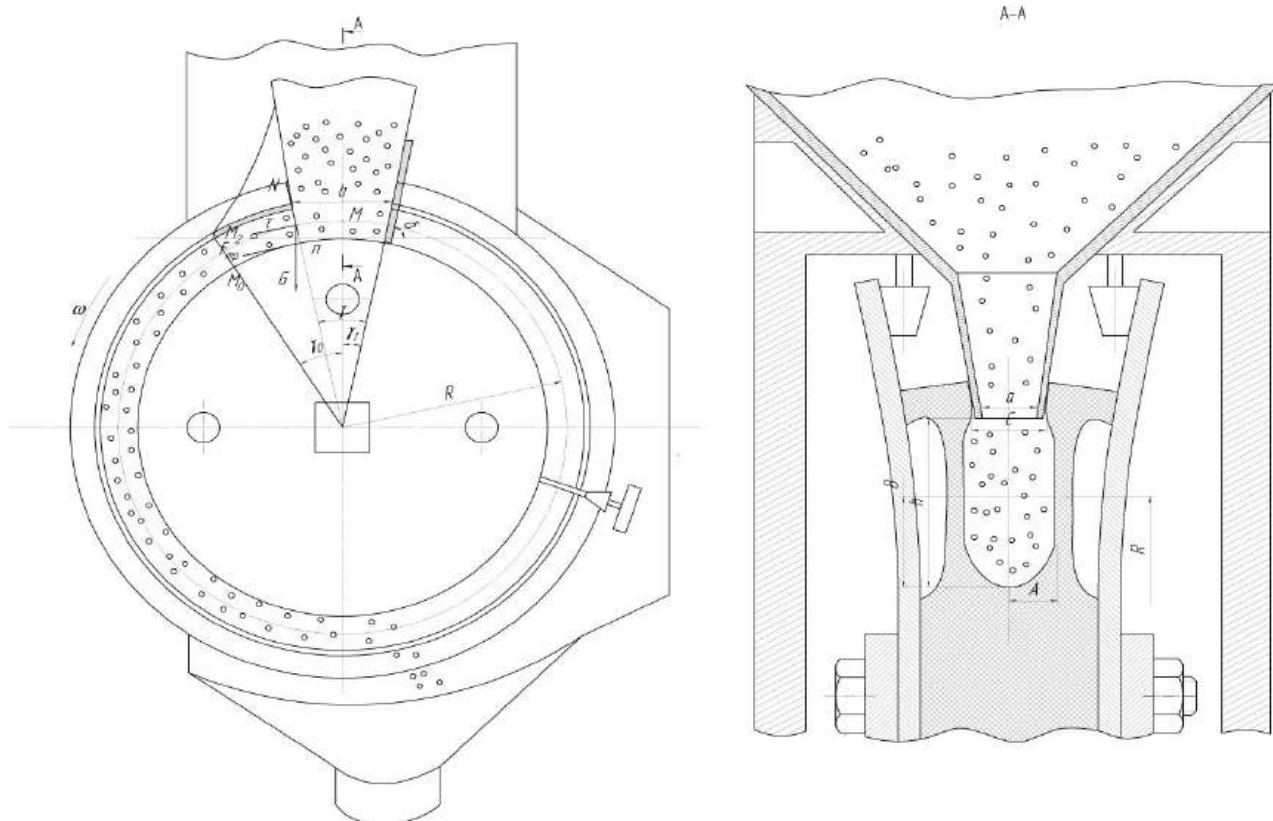


Рис. 2. Технологический процесс работы высевающего аппарата с эластичным высевающим диском

При этом подача на этих этапах будет зависеть от геометрических параметров семенной камеры и частоты вращения высевающего диска. В математическом выражении это можно представить как:

$$Q_3 = \omega \cdot R \cdot \pi \cdot A \cdot B \cdot k_y \cdot \rho,$$

где  $\omega$  – угловая скорость диска;  $R$  – радиус высевающего диска;  $A$  и  $B$  – размеры меньшей и большей полуосей семенной камеры;  $k_y$  – коэффициент уплотнения семян;  $\rho$  – насыпная плотность семян.

Подача выгрузки должна быть не меньше подачи аппарата, чтобы не было в этом месте затора. То есть должно соблюдаться условие

$$Q_3 \leq Q_4,$$

где  $Q_4$  – подача на четвертом этапе.

При движении сеялки по полю семена, находящиеся в высевающем аппарате, испытывают сотрясение, что влияет на величину и направление напряжений в среде семян. Однако на сеялку, равномернодвигающуюся по полю, преимущественно действуют вертикальные колебания от неровностей поля, поэтому задачи динамического состояния сыпучего материала можно решать по формулам статики, заменяя в них  $g$  на  $g + \nu$ .

Поэтому подача на первом этапе с учетом ускорения колебаний  $\nu$  будет определяться по формуле

$$Q'_1 = a \cdot b \sqrt{\frac{(g + \nu) \cdot a}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}},$$

где  $\nu$  – ускорения колебаний.

В результате анализа полученных аналитических уравнений можно сказать, что основными факторами, влияющими на движущийся семенной поток, являются: размеры поперечного сечения выпускного отверстия бункера, радиус семенной камеры, скорость вращения диска, коэффициенты трения семян о стенки семенной камеры и между собой, а также ускорения колебаний сеялки.

#### Библиографический список

1. Богомяких, В.А. Теория и расчет бункеров для зернистых материалов. – Ростов : Изд-во Ростовского университета, 1973. – 152с.
2. Зенков, Р.Л. Механика насыпных грузов. – М. : Машгиз., 1952. – 215 с.

УДК 631.331

Петров А.М. к.т.н., профессор; Петин А.В. аспирант

### РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА С ЭЛАСТИЧНЫМ ДИСКОМ НА БАЗЕ СЕЯЛКИ ССНП-16

*Рассмотрен технологический процесс работы экспериментальной высевающей системы. Во время полевого опыта велись наблюдения за развитием растений на посевах экспериментальной сеялкой и базовой сеялкой ССНП-16, оценивалось качество распределения семян и растений по площади поля, определялась биологическая урожайность с опытных участков.*

*Technological process experimental seeding system work of is considered. During field experience the supervision over plants development on plots by an experimental seeder and base seeder ССНП-16 were conducted, quality of seeds and plants distribution on the field area was estimated, biological productivity from testing plots was determined.*

В числе главных факторов получения высоких урожаев в селекционном производстве является качественный посев. На качество посева в значительной мере влияет равномерность распределения семян в рядке.

Однако устанавливаемые в настоящее время на селекционные сеялки высевающие аппараты не исключают пульсацию исходного потока семян, что, в конечном счете, сказывается на качестве распределения семян по площади поля. Причем в значительной степени затрудняется высев мелкосеменных культур.

Нами был разработан и изготовлен высеваящий аппарат с эластичным диском для посева мелкосеменных культур, исключая пульсацию исходного потока.

Для проведения исследований экспериментальный высеваящий аппарат был установлен на базу селекционной сеялки ССНП-16. Производился посев рапса на участках предварительного размножения и сортоиспытания Поволжского научно-исследовательского института селекции и семеноводства им. П.Н. Константинова.

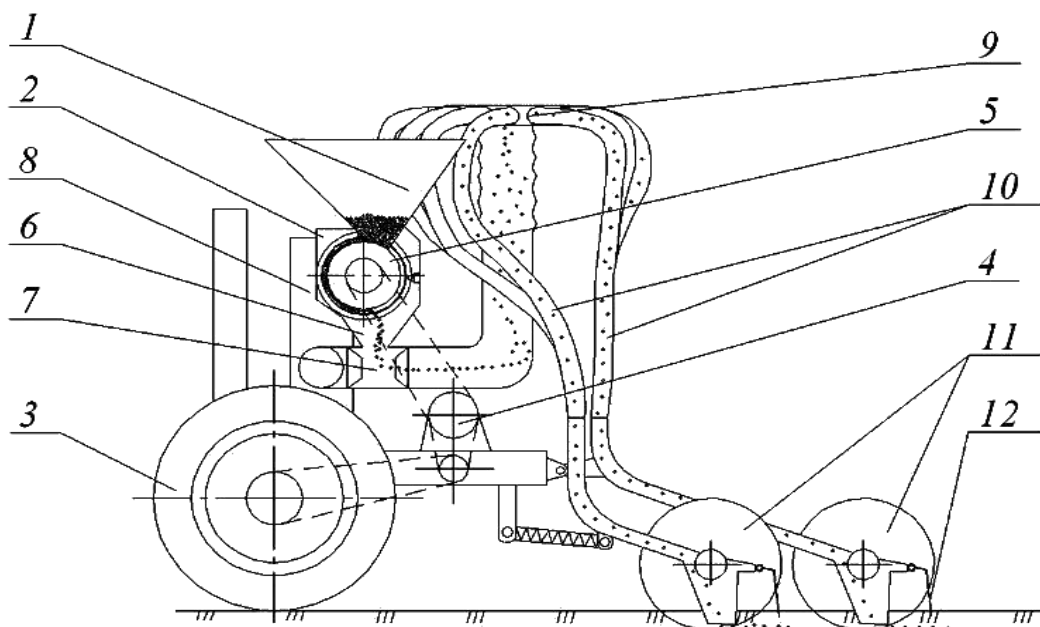


Рис. 1. Схема экспериментальной селекционной сеялки:  
1 – бункер; 2 – высеваящий аппарат; 3 – опорно-приводное колесо; 4 – редуктор,  
5 – высеваящий диск; 6 – приемная воронка; 7 – эжектор; 8 – вентилятор;  
9 – распределитель; 10 – пневмосемяпровод; 11 – сошник; 12 – загортачи

Технологический процесс работы экспериментальной высеваящей системы происходит следующим образом. Семена засыпаются в бункер 1, откуда они под действием гравитации попадают в высеваящий аппарат 2. При движении сеялки по полю опорно-приводное колесо 3 посредством цепных передач и редуктора 4 приводит во вращение диск высеваящего аппарата 5. Высеваящий диск 5, проходя под бункером, захватывает семена и перемещает семенной материал в приемную воронку 6 эжекторного устройства 7. Поток воздуха, подаваемый вентилятором 8, подхватывает семена и транспортирует их к распределителю 9. После распределителя 9 семена поступают по отдельным семяпроводам 10 для заделки в почву сошниками 11 и загортачами 12.

В качестве контрольной сеялки использовалась селекционная сеялка ССНП-16 базовой комплектации. Качество проведения посевов оценивалось по показателю равномерности распределения растений по площади поля.

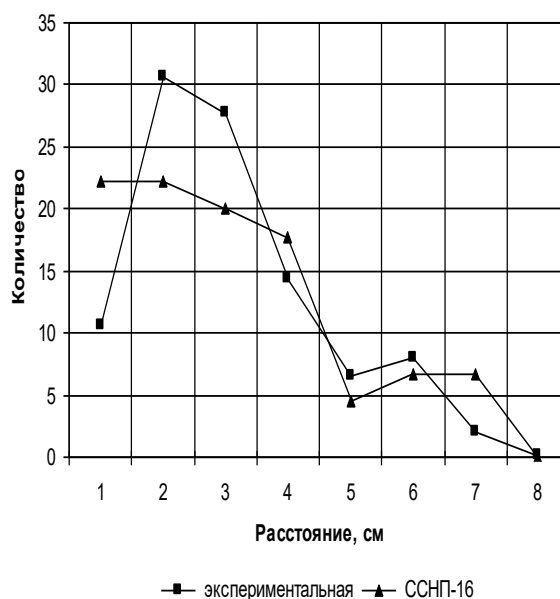


Рис. 2. График распределения растений в рядке

По результатам испытаний экспериментальной сеялки и ССНП-16 серийной комплектации при посеве рапса были получены следующие качественные показатели:

- неравномерность распределения семян в рядке у экспериментальной сеялки составила 54, а у серийной 73,4%;
- неравномерность распределения растений в рядке у экспериментальной сеялки составила 58,4, а у серийной 78,2%;
- при высеве экспериментальной сеялкой средний интервал между растениями составил  $a_{ср}=2,4$  см, а при посеве базовой сеялкой ССНП-16  $a_{ср}=3,7$  см.

За конечную оценку проведения сравнительных посевов принимали биологическую урожайность рапса. Отмечалось, что на селекционных делянках, посеянных экспериментальной сеялкой, вследствие более равномерного распределения растений по площади питания их общее развитие оказалось лучшим. Как следствие, полученный урожай рапса при посеве экспериментальной сеялкой составил 7,1 ц/га, а на контрольных посевах 3,9 ц/га.

Таким образом, проведенные полевые исследования позволяют сделать вывод о том, что применение экспериментального высевашевого аппарата на селекционной сеялке ССНП-16 позволяет улучшить качество посевов, обеспечить экономию дорогостоящего посевного материала, а так же повысить урожайность рапса по сравнению с посевами, проводимыми в настоящее время базовыми сеялками ССНП-16.

#### Библиографический список

1. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд., доп. и перераб. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.

УДК 631.331.022

Краснов С.В. к.т.н., доцент

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА ГРАВИТАЦИОННОГО ДЕЙСТВИЯ С ЭЛАСТИЧНЫМ ДИСКОМ

*В статье рассматривается экономическое обоснование при использовании высевашевого аппарата гравитационного действия на посеве делянок сортоиспытания и предварительного размножения.*

*In article the economic substantiation of the gravitational action seeding device using on soft-testing plot seeding and preliminary reproduction is considered*

Одним из основных условий получения высоких урожаев является равномерное распределение растений по площади питания, что во многом определяет посев. Качество посева во многом зависит от высевашевого аппарата сеялки, как технического средства для отбора, дозирования и подачи семян.

Анализ существующих высевашевого аппаратов и различных устройств для посева семян показывает, что целесообразным является использование высевашевого аппаратов гравитационного действия, где гравитационное истечение обеспечивается наличием в аппарате эластичного высевашевого элемента. Он позволяет с минимальным воздействием на семенной материал доставлять его от бункера к высевашевому окну и за счет изменения скорости послойного движения позволяет получить равномерный исходный поток.

В связи с этим на кафедре «Механика и инженерная графика» разработан высевашевого аппарат гравитационного действия с эластичным диском (рис. 1) [3].

Результатом научных исследований является оценка экономической эффективности создания новых рабочих органов или машин [2]. Существующими рекомендациями [1] предусмотрено определение экономической эффективности разработанных в сельском хозяйстве новых машин путем сравнения их основных технико-экономических показателей с существующими, наиболее производительными, аналогичными серийными образцами, внедренными в производство.



Исходные данные при расчете экономической эффективности выбирали согласно результатам полевых исследований, а также из нормативно-справочной литературы [4, 5]. За базу для сравнения принимали показатели использования сеялки СН-16, наиболее часто применяемой для посева делянок сортоиспытания и предварительного размножения

Экономическую эффективность использования экспериментальной пневматической сеялки с гравитационным высевальным аппаратом с эластичным диском необходимо определить из расчета урожайности.

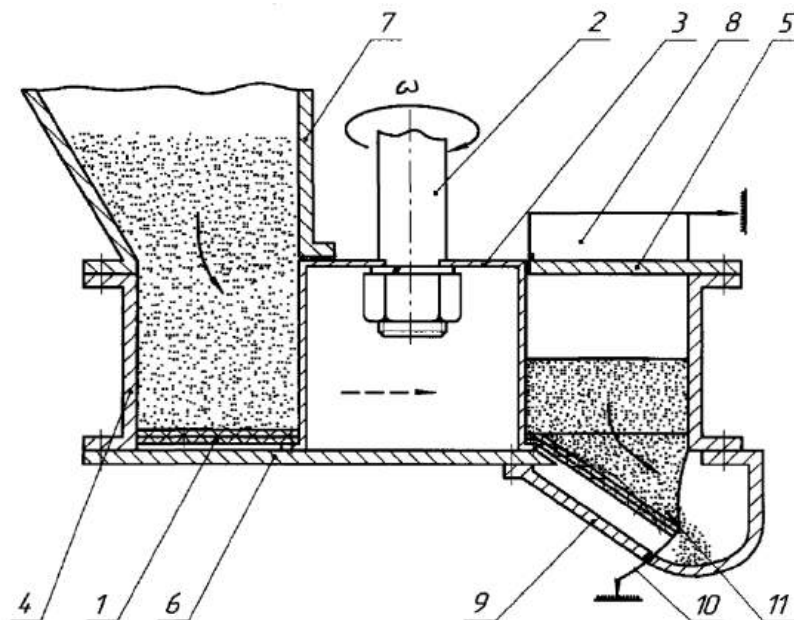


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема высевального аппарата:  
1 – эластичный диск; 2 – приводной вал; 3 – стакан; 4 – пояс; 5 – крышка;  
6 – днище; 7 – бункер; 8 – заслонка; 9 – эжекторное устройство;  
10 – отгибное устройство; 11 – наклонный желоб

Годовой экономический эффект от эксплуатации экспериментальной сеялки определяется следующим выражением:

$$\mathcal{E}_r = B_r (\Pi_3 - \Pi_6 + \mathcal{E}_c), \quad (1)$$

где  $B_r$  – годовая наработка машины, га/год;

$\Pi_6$ ,  $\Pi_3$  – приведенные затраты на единицу выработки базовой машиной и экспериментальной, руб/га;

$\mathcal{E}_c$  – экономический эффект за счет повышения количества продукции, руб/га.

Приведенные затраты на единицу выработки:

$$\Pi_3 = T_3 + EK_{уд}, \quad (2)$$

где  $T_3$  – прямые эксплуатационные затраты на единицу выработки, руб/га;

$E$  – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений (принимают  $E = 0,15$ );

$K_{уд}$  – удельные капитальные вложения на единицу выработки руб/га.

Прямые эксплуатационные затраты на единицу выработки:

$$T_3 = Z_{пп} + Z_t + Z_a + Z_{хр} + Z_{ТО} + Z_{стр}, \quad (3)$$

где  $Z_{пп}$  – затраты труда с учётом отчислений на социальные нужды, руб/га;

$Z_t$  – затраты на топливо и энергию, руб/га;

$Z_a$  – амортизационные отчисления на полное восстановление основных фондов, руб/га;

$Z_{хр}$  – затраты на хранение, руб/га;

$Z_{ТО}$  – затраты на техническое обслуживание и ремонт машин, руб/га;

$Z_{авт}$  – затраты на автоперевозки, руб/га;

$Z_{стр}$  – затраты на страхование, руб/га.

Данные расчётов эксплуатационных затрат представлены в таблице 1.  
Срок окупаемости экспериментальной сеялки составит:

$$C_0 = \frac{K_B}{\Theta_r}, \quad (4)$$

где  $K_B$  – дополнительные капитальные вложения, руб.

Таблица 1

Эксплуатационные затраты на посеве делянок

Статьи затрат	Обозначение	Базовая сеялка СН-16	Экспериментальная сеялка
Амортизационные отчисления, руб.	$З_a$	8948,36	8973,14
Техническое обслуживание и ремонт, руб.	$З_{то}$	2147,6	2193,55
Хранение, руб.	$З_{хр}$	733,05	737,4
Топливо и энергия – всего, руб.	$З_т$	226,8	226,8
Оплата труда – всего, руб.	$З_{пп}$	983,25	983,25
В том числе:			
Заработная плата, руб.	$З_{оп}$	750	750
Отчисления на социальные нужды, руб.	$З_{соц}$	233,25	233,25
Страховые платежи, руб.	$З_{стр}$	329,87	338,33
Итого	$T_э$	13368,93	13452,47

Таблица 2

Технико-экономические показатели эффективности использования сеялки на посеве делянок

Показатели	Единица измерения	Базовая сеялка СН-16	Экспериментальная сеялка
Производительность	га/ч	0,64	0,64
Балансовая цена	руб	200000	202327
Удельные капитальные вложения	руб/га	20000	20232,7
Приведенные затраты на единицу выработки	руб/га	16368,93	16487,38
Годовой экономический эффект, руб.	руб	–	32870
Срок окупаемости сеялки	год	–	0,7

Дополнительные капитальные вложения определяются по формуле:

$$K_B = B_B - B_э, \quad (5)$$

где  $B_э$  – балансовая стоимость экспериментальной сеялки, руб.;

$B_B$  – балансовая стоимость базовой сеялки, руб.

В результате выполненных технико-экономических расчетов использования посевных машин необходимо сделать выводы.

1) Применение экспериментальной сеялки на посеве делянок сортоиспытания и предварительного размножения, улучшает равномерность посева, тем самым, позволяя создать более благоприятные условия для роста и развития растений, что в конечном итоге приводит к повышению урожайности сельскохозяйственных культур. Экономический эффект от повышения количества продукции составил 9600 руб/га.

2) Применение на посеве делянок сортоиспытания и предварительного размножения сеялки с высевающим аппаратом гравитационного действия снижает затраты труда на 3,95 %.

3) За счет повышения урожайности на сопоставимые объёмы работ годовой экономический эффект от внедрения экспериментальной сеялки составил 32870 рублей.

#### Библиографический список

1. Власов, Н.С. Методика экономической оценки сельскохозяйственной техники. – М. : Колос, 1979. – 396 с.
2. Косачев, Г.Г. Экономическая оценка новой техники / Г.Г. Косачев, Е.М. Самойленко // Техника в сельском хозяйстве. – 1987. – №2. – С. 51-55.
3. Краснов, С.В. Совершенствование технологии высева селекционной сеялки и обоснование параметров высевающего аппарата гравитационного действия : дисс. ... канд. техн. наук : 05.20.01 : защищена 26.03.04 : утв. 04.06.04. – Саратов, 2003. – 145 с.
4. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники : нормативно-справочный материал. – Ч. 1, 2. – М., 1998. – 470 с.
5. Нормативно-справочный материал для экономической оценки сельскохозяйственной техники. – М. : ЦНИИТЭИ, 1988. – 326 с.

УДК 631.3

Родимцев С.А. к.т.н., доцент (Орловский ГАУ)

### КОНЦЕПЦИИ СОЗДАНИЯ НОВЫХ УБОРОЧНЫХ МАШИН ДЛЯ ЦЕЛЕЙ СЕЛЕКЦИИ И ПЕРВИЧНОГО СЕМЕНОВОДСТВА

*С целью повышения эффективности процесса производства новых сортов сельскохозяйственных культур предлагается использование новых технологии и технических средств, позволяющих резко сократить травмирование семян и обеспечить предварительное фракционирование зернового вороха уже на стадии обмолота. Решением этой задачи может стать применение аксиально-конического молотильно-сепарирующего устройства (МСУ) с обмолачивающими элементами шнеко-лопастного типа, обеспечивающими “щадящие” режимы обработки материала и использование принципов дифференциального обмолота и зональной сепарации. Приводятся данные экспериментальных исследований.*

*With the purpose of crops new varieties manufacture process efficiency increasing we use new technologies and the means allowing sharply to reduce seeds breaking and to provide preliminary grain heaps fractioning already at the threshing stage. The application of conic threshing-separating device with threshing blade-type elements can become the decision of this problem, providing sparing modes of material processing and differential threshing and zone separation principles using. Experimental researches data are cited.*

Научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими разработками в области создания средств механизации для селекции и первичного семеноводства доказана возможность механизации и даже автоматизации всех полевых и многих лабораторных работ [1]. Повышению эффективности процесса производства новых сортов сельскохозяйственных культур способствует, также, использование наиболее прогрессивных технологических приемов и конструкторских решений, позволяющих повысить качество исходного материала.

В предлагаемой работе предложен один из вариантов использования технологии и технических средств, позволяющих резко сократить травмирование семян и обеспечить фракционное разделение зернового вороха уже на стадии обмолота.

Как свидетельствуют данные экспериментально-теоретических исследований [2], решением проблемы травмирования семян может стать использование дифференциального обмолота аксиальным (тангенциально-аксиальным) коническим МСУ, со шнеко-лопастными рабочими органами. При этом снижается травмирование семян за счет использования “косого” удара [3], возрастает вероятность более полного фракционного разделения семян методом зональной сепарации зернового вороха [4]. Разделение семян на фракции в процессе обмолота селекционного материала позволяет получить дополнительную оценку изучаемых форм, так как различные фракции зерна одного и того же сорта различаются по своим свойствам. Кроме того, выделение биологически ценных семян на стадии обмолота материала различных питомников первичного семеноводства (производство оригинальных семян), способно уменьшить объем ручного труда.

С целью резкого снижения травмирования семян в процессе обмолота снопов селекционного материала и обеспечения возможности фракционного разделения предложена конструктивно-технологическая схема новой сноповой молотилки.

Молотилка сноповая коническая, с фракционным разделением зернового вороха МСК-1Ф (рис. 1), разработана на базе селекционной сноповой молотилки МСС-2 [5]. Принципиальное отличие молотилки МСК-1Ф от прототипа, заключается в использовании молотильного барабана, в форме усеченного конуса, с обмолачивающими элементами шнеко-лопастного типа. Кроме того, молотилка имеет устройства, обеспечивающие разделение зернового вороха на фракции, по работе, затрачиваемой на вымолот семян из соцветия [6]. Фракционное разделение производится методом зональной сепарации подбарабашем.

Процесс работы молотилки без фракционного разделения зернового вороха аналогичен процессу молотилки МСС-2. В случае необходимости фракционного разделения зернового вороха, фракционные шторки под декой молотильного устройства переводятся в одно из нескольких положений, обеспечивающих нужный вариант разделения. Исключение смешивания различных фракций семян при транспортировании и очистке зернового вороха, обеспечивают разделительное ребро на ленте транспортера и парные приемные воронки в зоне схода семян с транспортерной ленты.

Как показали результаты испытаний, качество обмолота молотилкой МСК-1Ф удовлетворяет агротехническим требованиям на обмолоте зерновых и зернобобовых культур (табл. 1). По сравнению с аналогом, опытная молотилка позволяет увеличить производительность за час сменного и эксплуатационного времени не менее чем на 2,7%, в обычном режиме работы. Кроме того, молотилка МСК-1Ф способна обеспечить предварительное разделение семян по степени биологической ценности; при этом дробление семян отобранной фракции на 0,01...0,98% ниже, чем для остальной части материала, абсолютная масса этих семян на 10,95...13,0% выше, а всхожесть на 3,6...3,9% больше, чем при обычном способе обмолота.

Таблица 1

Показатели работы машин

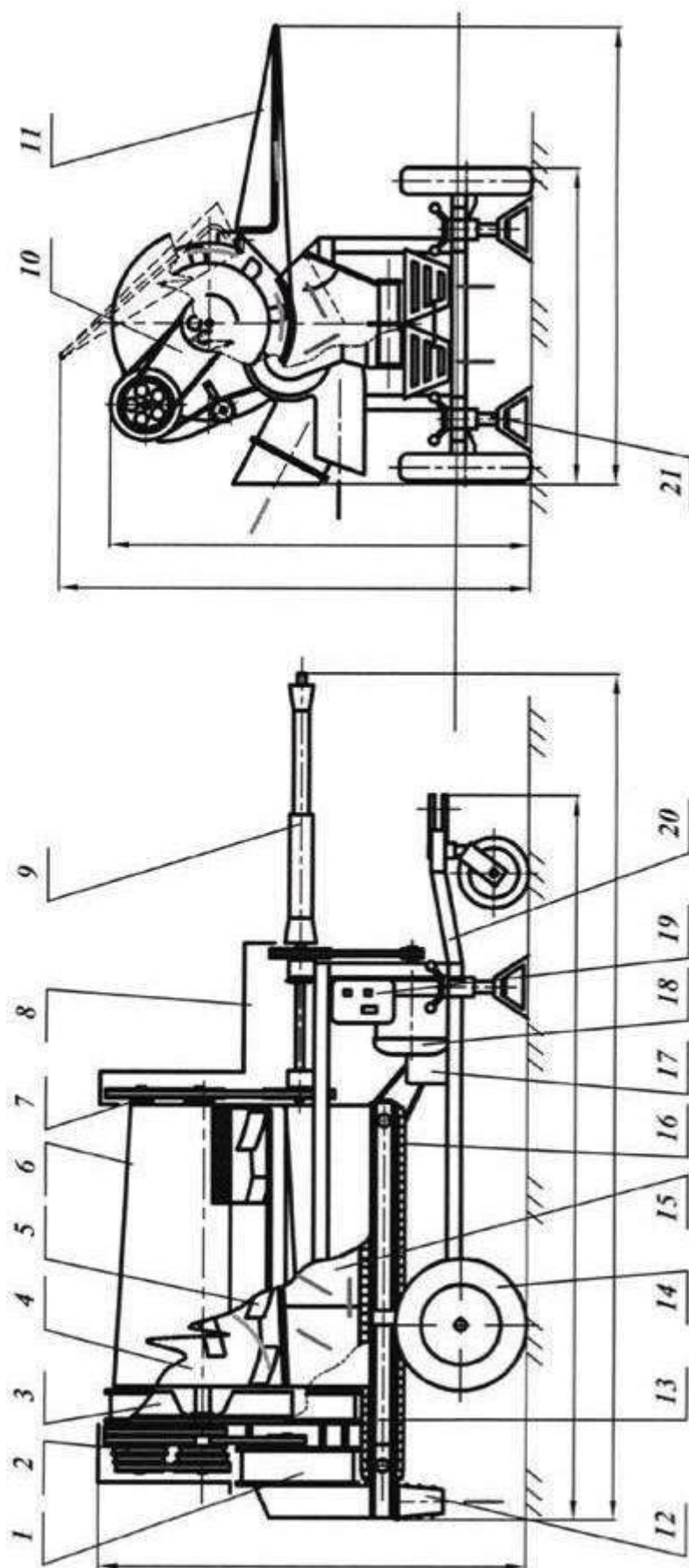
№ п/п	Показатели, характеризующие работу машин	МСК-1Ф (без разделения)			МСС-2		
		Пшеница	Горох	Фасоль	Пшеница	Горох	Фасоль
1	Общие потери, %	1,22	1,91	1,80	1,14	2,08	2,34
2	Чистота зерна, %	99,12	97,8	99,45	97,32	96,8	96,08
3	Дробление, %	0,06	0,35	0,65	0,33	3,32	0,86

Специфика механизации уборки растений в селекционно-семеноводческом процессе состоит в том, что применяемые средства технического обеспечения должны быть адаптированы к конкретным условиям. Последние зависят от размеров, формы, размещения делянок и межделяночных дорожек, в свою очередь, определяемых назначением питомников, изучаемой культурой и целями исследования.

Так, например, в селекции зернобобовых культур принята двухстрочная схема посева селекционных питомников первого года. За один проход посевного агрегата при ширине колеи 1800 мм засеивается одновременно по две делянки.

В соответствии со схемой посева разработана машина для уборки потомств отдельных растений МУП-1. Машина [7] состоит из двух секций на общей раме, имеющих идентичные молотильно-сепарирующие устройства закрытого типа и жатки.

Значительно расширить эксплуатационные возможности машины и использовать ее на уборке урожая с делянок, как II, так и III этапов селекционно-семеноводческих работ позволит установка на машине МУП-1 конического шнеко-лопастного МСУ и устройства фракционного разделения зернового вороха.



— Хлебная масса — Мелкий ворох — Зерновой ворох — Солома — Очищенные семена

Рис. 1. Технологическая схема аксиально-conoидальной молотилки с фракционным разделением зернового вороха МСК-1Ф:

- 1 – вентилятор очистки; 2 – клиноременная передача; 3 – швырялка; 4 – барабан; 5 – шнеко-лопастной обмолочивающий элемент; 6 – крышка; 7 – вал контрпривода; 8 – защитный кожух; 9 – карданная передача; 10 – корпус; 11 – лоток подачи; 12 – воронки; 13 – транспортер; 14 – колесо; 15 – фракционные шторки; 16 – разделительный элемент; 17 – конический редуктор; 18 – электродвигатель; 19 – пускатель; 20 – рама; 21 – опора

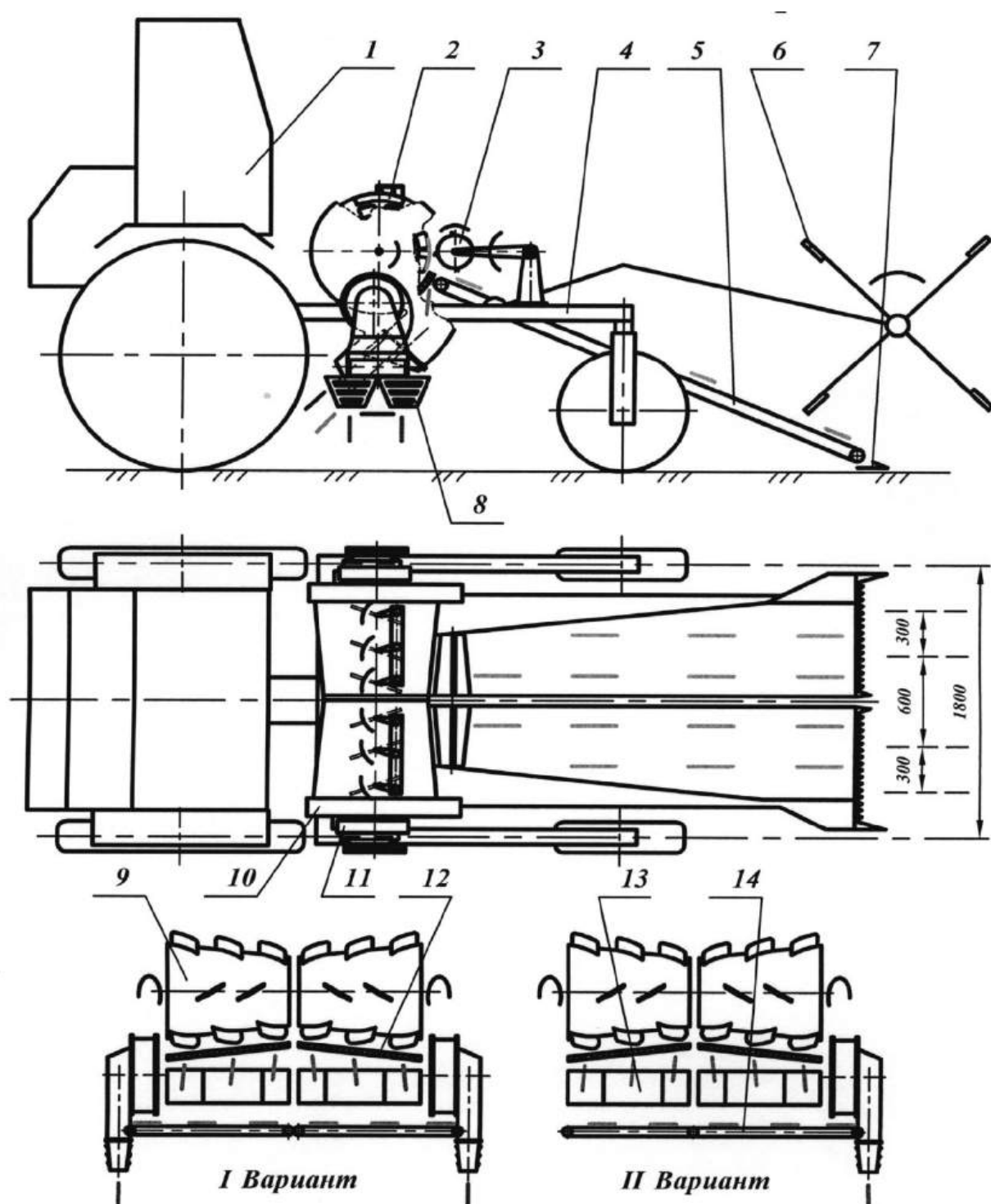


Рис. 2. Технологическая схема машины МУП-0,3Ф для уборки растений с делянок II, III этапов селекционно-семеноводческих работ:

- 1 – энергосредство; 2 – направляющие; 3 – питатель; 4 – рама; 5 – транспортер жатки; 6 – мотовило;  
 8 – воронки; 9 – барабан; 10 – швырялка; 11 – вентилятор очистки; 12 – дека; 13 – фрикционные шторки;  
 14 – транспортер зернового вороха

Доработка машины заключается в следующем (рис. 2). Вместо молотильно-сепарирующего устройства закрытого типа с цилиндрическим барабаном штифтового типа, устанавливается сдвоенная коноидальная молотилка, со шнеко-лопастными рабочими органами. Приемное окно каждого молотильного аппарата смещено в сторону с меньшим диаметром барабана. С целью устойчивости технологического процесса и исключения забивания хлебной массой приемного окна, на входе в молотильную камеру установлены конические приемные битеры.

Универсальность новой машины заключается в возможности использования ее на делянках как II, так и III этапов селекционно-семеноводческих работ, что обеспечивается изменением технологического процесса обмолота в молотильной камере с закрытого на поточный. Для этого, на крыше молотилки установлены регулируемые направляющие движения хлебной массы.

Они представляют собой пластины, занимающие определенное положение, относительно направления движения обмолачиваемого материала. Регулировка механизма позволяет изменять скорость аксиального перемещения хлебной массы в молотильном зазоре от входа к выходу из молотильного устройства.

Технологический процесс при использовании новой машины происходит так. Для уборки потомств отдельных растений на делянках II этапа, на машине устанавливается заменяемый модульный блок с раздельной системой транспортирования и очистки зернового вороха. При этом направляющие хлебной массы на крыше молотилки переводятся в положение, обеспечивающее исключение поточного перемещения обмолачиваемого материала. Фракционные шторки и приемные воронки семян устанавливаются в необходимые позиции, навешиваются мешочки для сбора семян. Производится скашивание одной или двух делянок, соответственно, одной или двумя секциями машины. После прохода делянки, агрегат останавливают, но процесс обмолота продолжается до полного вымолота всех семян. Затем, тракторист переводит направляющие в положение, при котором солома беспрепятственно выбрасывается из молотильных камер лопастями швырялки. Оператор снимает мешочки и навешивает пустые. После этого процесс повторяется.

При работе машины на делянках III этапа, ее подготовка заключается в установке заменяемого блока со сдвоенной системой транспортирования и очистки зернового вороха. Регулировка направляющих должна обеспечивать поточную схему перемещения обмолачиваемой массы, при условии полного вымолота семян. Фракционные шторки и приемные воронки устанавливаются в положение, соответствующее работе системы сепарации и очистки зернового вороха с фракционным разделением или без такового. Работа машины продолжается до скашивания и обмолота всех растений с делянки или до момента заполнения мешочков. После смены мешочков процесс повторяется.

Ведутся работы по созданию макетного образца машины. Разработка и внедрение предлагаемых машинных технологий позволит резко снизить травмирование семян при обмолоте селекционного материала, а также обеспечить фракционное разделение зернового вороха уже на стадии обмолота хлебной массы. Это создает предпосылки к улучшению качества получаемых семян, расширению сферы функциональных возможностей машин, уменьшению объема ручного труда и, как следствие, повышению производительности и эффективности работ в процессах селекции и первичного семеноводства.

#### Библиографический список

1. Машины для механизации селекционно-семеноводческих работ в овощеводстве / Л.В. Павлов, С.А. Павлов, В.М. Дринча [ и др.] ; под общ. ред. В.М. Дринчи. – М., 2005. – 168 с.
2. Родимцев, С.А. Конусное молотильно-сепарирующее устройство с фракционным разделением зернового вороха / С.А. Родимцев, В.М. Дринча // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2006. – №7. – С. 6-8.
3. Дринча, В.М. Снижение травмирования зерна при обмолоте / В.М. Дринча, С.А. Родимцев, В.П. Пьяных // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2004. – №10. – С. 38-40.
4. Селекционная молотилка для дифференцированного обмолота / С.А. Родимцев, В.П. Пьяных, В.М. Дринча // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2005. – №5. – С. 15-17.
5. Пьяных, В.П. Селекционные молотилки МСС-2 и МЗ-1-01 // Селекция и семеноводство. – 1990. – №2. – С. 55-57.
6. Заявка 2005131395 Российская Федерация. Устройство для разделения зернового вороха в аксиальных молотилках / Родимцев С.А., Дринча В.М. (ФГОУ ВПО ОрелГАУ). – Заявл. 10.10.05.
7. Пьяных, В.П. Развитие механизации селекционно-семеноводческих процессов // Совершенствование селекции и технологии возделывания зерновых бобовых и крупяных культур : тр. ВНИИЗБК. – Орел, 1992. – С. 232-239.



# ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ И УПЛОТНЕНИЯ ПОЧВЫ

УДК 631.431

Петров А.М. к.т.н., профессор; Савельева Р.Ю. аспирант

## АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИЗУЧЕНИЮ МЕХАНИЗМА УПЛОТНЕНИЯ ПОЧВЫ ХОДОВЫМИ СИСТЕМАМИ ТРАКТОРОВ

*Выполнен краткий анализ исследований по влиянию различных факторов на процесс уплотнения почвы ходовыми системами сельскохозяйственных тракторов.*

*The brief researches analysis of various factors influence compaction soil process farm tractors running systems is executed.*

При разработке различных способов и устройств для уменьшения уплотняющего действия ходовых систем сельскохозяйственных тракторов на почву необходимо знать механику процесса уплотнения. В процессе уплотнения участвуют с одной стороны почва как объект обработки и с другой деформатор – ходовая система трактора. При этом на рассматриваемый процесс влияют физико-механические и технологические свойства почвы, а также механические и технологические свойства ходовых систем тракторов.

Процесс уплотнения почвы под воздействием ходовых систем осуществляется посредством создания колесом или гусеницей деформирующего давления. Под действием внешней нагрузки происходит перемещение слоев почвы, в которых отдельные почвенные агрегаты смещаются друг относительно друга, уменьшая межагрегатное пространство. В зависимости от свойств почвы, величина смещения слоев почвы различна. Особенностью уплотненной почвы является ее способность в определенной степени восстанавливаться посредством сил упругости почвенных агрегатов. Поэтому остаточная деформация будет определяться так называемыми реологическими свойствами почвы [1].

Оценочными показателями уплотняющего действия на почву часто выбираются показатели нормального давления (напряжения) от ходовой системы, величины деформации, плотности, твердости почвы и другие.

Уплотняющее действие ходовых систем сельскохозяйственных тракторов в процессе работы на почву обусловлено ее деформацией, величина которой во многом определяется действующими напряжениями в почвенном массиве. Распределение напряжений в почве во многом зависит от контактных напряжений, различных по величине и определенным образом расположенных по площади контакта ходовой системы с почвой. Убедительные экспериментальные данные в этом отношении приводятся В.А. Русановым [2], где, в частности, представлены поперечные и продольные распределения максимумов давлений под колесными и гусеничными движителями. Отмечается, что характер распределения напряжений может иметь треугольный, параболический,

трапецевидный и комбинированный вид. Исследованиями Э.Ю. Нугиса [3] доказано, что ширина участка напряженного состояния почвы от ходовой системы трактора Т-150К в два раза больше ширины его колеса. При этом напряжения определялись на расстоянии 1м от ходовой системы. Наиболее интенсивно уплотняется почва колесными тракторами.

Впервые задача для расчета напряжений в почвенном полупространстве была решена профессором Ж. Буссинеском. Данное решение представлено академиком Н.А. Цытовичем в следующем виде [4]:

$$\sigma_R = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{\pi R^2} \cos \beta,$$

где  $P$  – сосредоточенная сила;

$R$  – расстояние от точки приложения сосредоточенной силы до любой точки полупространства;

$\beta$  – угол между направлением действия сосредоточенной силы и направлением на рассматриваемую точку.

С прикладной точки зрения большой интерес представляют расчетные зависимости по определению взаимосвязи «напряжение-деформация» предложенные В.П. Горячкиным, Г.И. Покровским, С.С. Корчуновым, М.Н. Троицкой, Я.С. Агейкиным [5]. Одной из наиболее часто применяемых формул по рассматриваемым параметрам является зависимость предложенная В.В. Кацыгиным [5]:

$$\sigma = \rho_0 \cdot th \cdot \frac{k}{\rho_0} \cdot h,$$

где  $\rho_0$  – предел несущей способности почвы;

$k$  – коэффициент объемного смятия.

Достоинством данной формулы является доступность при определении ее параметров, а результаты расчетов достаточно точно описывают изучаемый процесс.

Взаимосвязь между напряжением и относительной деформацией предложила Д.И. Золотарева [6]:

$$\sigma = \sigma_{sm} \cdot \left[ th \frac{E_m}{\sigma_{sm}} (\varepsilon - \varepsilon_m) + th \frac{E_m}{\sigma_{sm}} \varepsilon_m \right],$$

где  $\sigma_m = \sigma_s - \sigma_m$ ;

$\sigma_s$  – максимальное значение напряжения;

$\sigma_m$  – напряжение в точке перегиба кривой;

$E_m$  – модуль деформации почвы в точке перегиба кривой;

$\varepsilon$  – текущая координата деформации;

$\varepsilon_m$  – деформация в точке перегиба.

Данная зависимость включает характерные изменения параметров, входящих в формулу, в процессе деформации почвы.

Теоретические исследования по определению напряженного состояния в почве были экспериментально подтверждены не только их авторами, но целым рядом экспериментальных исследований других ученых, в том числе и иностранных.

Результаты этих экспериментальных исследований физико-механических свойств уплотненной почвы показали, что характер изменения величины деформации определяется видом и степенью предшествующей обработки. Данным вопросом достаточно подробно занимались Чанселлор, Шмидт и Йонг [7]. Изменение величины деформации почвы осуществлялось с различными ходовыми системами тракторов. Распространение деформации почвы наблюдалось на расстоянии 0,8...1 м по сторонам от следов трактора и по всей глубине пахотного слоя [8]. Аналогичные данные получены В.И. Кравченко [6]. Подчеркивается, что данный характер изменения деформации почвы наблюдается не только в случае использования колесных, но и в случае применения гусеничных тракторов. Экспериментальными данными В.Т. Ходыкина было доказано, что напряжение, деформация и степень уплотнения почвы зависят как от ее физико-механических свойств, так и от количества проходов тракторов. Так напряжения в зависимости от глубины пахотного горизонта уменьшаются в 1,5...2 раза на каждые 0,1 м, а в подпахотном – в 2...4 раза. Определено также, что с уве-

личением скорости движения ходовой системы, величина деформации почвы уменьшается, а увеличение нагрузки на крюке несущественно увеличивает уплотнение почвы, так как увеличивается деформация шин [9].

В итоге можно отметить, что механизм процесса уплотнения почвы ходовыми системами тракторов является сложным и многофакторным. Имеющаяся информация по данному вопросу является необходимой основой для исследований по уменьшению уплотнения почвы ходовыми системами тракторов.

#### Библиографический список

1. Синеоков, Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. – М. : Машиностроение, 1977. – 328 с.
2. Русанов, В.А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути её решения. – М. : ВИМ, 1998. – Т. 118. – 368 с.
3. Нугис, Э. Методика экспериментальных исследований по определению уплотняющего воздействия ходовых устройств сельскохозяйственной техники на почву / Э. Нугис, Э. Янсоо : сб. науч. трудов. – Т. XXXIX. – Таллин, 1976. – С. 245-252.
4. Цытович, Н.А. Основы механики грунтов. – Л. ; М. : Главная редакция строительной литературы, 1934. – 305 с.
5. Скотников, В.А. Проходимость машин / В.А. Скотников, А.В. Пономарев, А.В. Климанов. – Минск : Наука и жизнь, 1982. – 328 с.
6. Кулен, А. Современная земледельческая механика / А. Кулен, Х. Куиперс ; пер. с англ. – М. : Агропромиздат, 1986. – 349 с.
7. Ксенович, И.П. Ходовая система-почва-урожай / Ксенович И.П., Скотников В.А., Ляско М.И. – М. : Агропромиздат, 1985. – 304 с. – ил.

УДК 631.431

Савельев Ю.А. к.т.н., доцент; Фатхутдинов М.Р. инженер

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ ПОЧВЫ ПОСЛЕ СХОДА С КЛИНА

*Проведено аналитическое исследование процесса движения частицы почвы после схода с поверхности плоского клина. Определены параметры траектории с учетом свойств почвы и размеров клина.*

*The soil particles movement process analytical research by flat wedge surface deviation was expanded. The trajectory parameters are determined according the soil properties and the wedge size.*

При обосновании конструктивно-технологических параметров комбинированных почвообрабатывающих рабочих органов, содержащих конструктивные элементы в форме клина, необходима информация о форме поверхности почвы при ее обработке. Рассмотрим движение частицы почвы по рабочей поверхности плоского клина.

При взаимодействии плоского клина с почвой пласт почвы деформируется его рабочей поверхностью по направлению движения. После достижения предела прочности почва скалывается под углом  $\psi$  к горизонту (рис. 1). Величина  $\psi$  определяется по формуле В.П. Горячкина [1]:

$$\psi = 90^\circ - \frac{\alpha + \varphi + \varphi'}{2}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – угол крошения, град;

$\varphi$  – угол трения почвы о сталь, град;

$\varphi'$  – угол внутреннего трения, град.

Координаты частицы почвы относительно точки А:

– по вертикали:



При рыхлении почвы толщина обрабатываемого слоя увеличивается за счет разделения его на отдельные агрегаты и увеличения межагрегатного пространства. Толщина разрыхленного слоя определяется по формуле [2]:

$$h'_p = h_p \cdot \frac{\sin(\alpha + \psi)}{\sin \psi}, \quad (7)$$

где  $h_p$  – исходная толщина обрабатываемого слоя почвы, м.

Учитывая, что на частицу почвы в полете действует только сила тяжести, и если пренебречь сопротивлением воздуха, то движение частицы почвы по траектории можно представить дифференциальными уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} \frac{md^2x}{dt^2} &= 0 \\ \frac{md^2y}{dt^2} &= -mg \end{aligned} \right\}. \quad (8)$$

Проинтегрируем выражения (8):

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= C_1 \\ \frac{dy}{dt} &= -gt + C_2 \end{aligned} \right\}. \quad (9)$$

Данные выражения (9) имеют размерность скорости, поэтому, зная  $C_1$  и  $C_2$ , можно определить в начале движения частиц почвы величины составляющих скорости  $V_a$ :

$$\left. \begin{aligned} V_a^r &= C_1 = V_a \cdot \cos\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right) \\ V_a^B &= C_2 = V_a \cdot \sin\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right) \end{aligned} \right\}. \quad (10)$$

Подставим выражение (10) в (9) с учётом (4):

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= V_a^r = V_{PO} \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \psi)} \cdot \cos\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right) \\ \frac{dy}{dt} &= V_a^B = V_{PO} \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \psi)} \cdot \sin\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right) - gt \end{aligned} \right\}. \quad (11)$$

Абсолютная скорость частиц почвы в любой точке траектории движения можно определить по формуле:

$$V_a = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{(V_a^r)^2 + (V_a^B)^2}. \quad (12)$$

Для определения координат частиц почвы при движении по траектории в любой момент времени, проинтегрируем выражения (11):

$$\left. \begin{aligned} x &= \left( V_{PO} \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \psi)} \cdot \cos\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right) \right) t + C_3 \\ y &= \left( V_{PO} \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \psi)} \cdot \sin\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right) \right) t - \frac{1}{2}gt^2 + C_4 \end{aligned} \right\}. \quad (13)$$

Величины  $C_3$  и  $C_4$  имеют линейную размерность и являются координатами частиц почвы в момент схода их с рабочей поверхности относительно носка клина и определяются по формулам (2) и (6).

Подставив выражения (2) и (6) в (13) определим координаты  $x$  и  $y$ :

$$\left. \begin{aligned} x &= \left( V_{PO} \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \psi)} \cdot \cos\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right) \right) t - l_{PII} \cdot \frac{\sin \beta \cdot \cos\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right)}{\sin \psi} \\ y &= \left( V_{PO} \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \psi)} \cdot \sin\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right) \right) t - \frac{1}{2} g t^2 + l_{PII} \cdot \sin \alpha \end{aligned} \right\}. \quad (14)$$

Определим величину  $t$ :

$$t = \frac{x + l_{PII} \cdot \frac{\sin \alpha \cdot \cos\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right)}{\sin \psi}}{V_{PO} \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \psi)} \cdot \cos\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right)}. \quad (15)$$

Ордината траектории движения частиц почвы с учётом выражения (15) определится:

$$\begin{aligned} y &= \frac{\sin\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right)}{\cos\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right)} \cdot \left( x + l_{PII} \cdot \frac{\sin \alpha \cdot \cos\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right)}{\sin \psi} \right) - \\ &\quad - \frac{1}{2} g \cdot \left( \frac{x + l_{PII} \cdot \frac{\sin \alpha \cdot \cos\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right)}{\sin \psi}}{V_{PO} \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \psi)} \cdot \cos\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right)} \right)^2 + l_{PII} \cdot \sin \alpha. \end{aligned} \quad (16)$$

Для определения максимальной ординаты траектории движения частицы почвы найдём производную от выражения (16):

$$\begin{aligned} y_{\max} = y' &= \frac{\sin\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right)}{\cos\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right)} - g \cdot \left( \frac{x + l_{PII} \cdot \frac{\sin \alpha \cdot \cos\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right)}{\sin \psi}}{V_{PO} \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \psi)} \cdot \cos\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right)} \right) \times \\ &\quad \times \left( \frac{1}{V_{PO} \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \psi)} \cdot \cos\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right)} \right). \end{aligned} \quad (17)$$

Приравняем к нулю производную  $y'$  и определим абсциссу максимума траектории:

$$x_{\max} = \frac{1}{g} \cdot \operatorname{tg}\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right) \cdot \left( V_{PO} \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \psi)} \cdot \cos\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right) \right)^2 - l_{PII} \cdot \frac{\sin \alpha \cdot \cos\left(90^\circ - \frac{\alpha}{2}\right)}{\sin \psi}. \quad (18)$$

Подставив полученное значение абсциссы (18) в уравнение (16) нетрудно определить  $y_{\max}$  частиц почвы после схода с рабочей поверхности клина.

Максимальную высоту профиля поверхности почвы над клином, с учётом формулы (7) определим следующим выражением:

$$y_{\max}^{II} = y_{\max} + h'_p = y_{\max} + h_p \cdot \frac{\sin(\alpha + \psi)}{\sin \psi} \quad (19)$$

где  $h'_p$  – высота слоя почвы после разрыхления (7), м.

Для подтверждения теоретических зависимости (19) были проведены экспериментальные исследования, результаты которых представлены на рисунке 2, зависимость максимальной высоты профиля поверхности почвы от глубины рыхления.

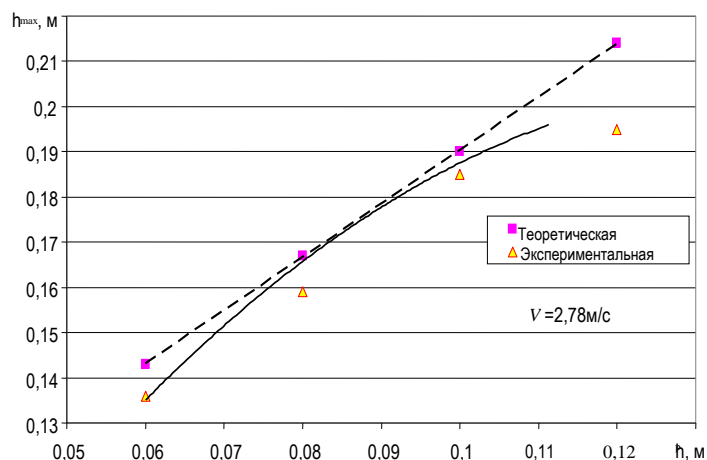


Рис. 2. Зависимость максимальной высоты профиля поверхности почвы от глубины рыхления

Экспериментальные данные подтверждают теоретические зависимости по определению параметров траектории движения частиц почвы и, в частности, максимальной высоты поверхности почвы в зависимости от глубины рыхления.

#### Библиографический список

1. Горячкин, В.П. Собрание сочинений : в 3 т. – М. : Колос, 1965. – 755 с.
2. Синеоков, Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков, И.М. Панов. – М. : Машиностроение, 1977. – 322 с.
3. Савельев, Ю.А. Разуплотнение почвы по следу тракторов при посеве сельскохозяйственных культур : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Горки : БСХА, 1990. – 24 с.

УДК 631.431

Савельев Ю.А. к.т.н., доцент; Фатхутдинов М.Р. инженер

## ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РАЗУПЛОТНЕНИЯ ПОЧВЫ

*Теоретически обосновывается эффективность блокированного разуплотнения уплотнённой почвы в сравнении с классическим способом. Эффективность определяется количеством энергии в рассматриваемом сечении обрабатываемого пласта почвы.*

*The blocked pressing soil undepressing efficiency is theoretically proved in comparison with the classical method. It defines by energy amount in process able soil layer considered section.*

В процессе рыхления почвы по следам тракторов с целью разуплотнения применяется блокированное механическое воздействие на объём почвы, расположенный в вертикальной ленте. Ленты нарезаются определённой ширины ножами-щелерезами входящими в состав комбинированного рабочего органа следоразрыхлителя. Преимуществом данного способа является концентрация подведённой механической энергии только в объёме ленты. Образующиеся почвенные агрегаты при

этом имеют максимальный размер не более ширины ленты, что достигается ограничением распространения плоскостей бокового скола почвы в поперечном направлении от лапок-рыхлителей.

При классическом рыхлении уплотнённой почвы рыхлителями в виде стрелчатых лап осуществляется деформация и крошение почвы в ленте за счёт подведённой энергии от рабочей поверхности рабочего органа с распространением плоскости бокового скола в поперечном направлении. В обоих вариантах рыхление почвы осуществляется в её предельно напряжённом состоянии, в плоскости скола под углом  $\psi$  к горизонту.

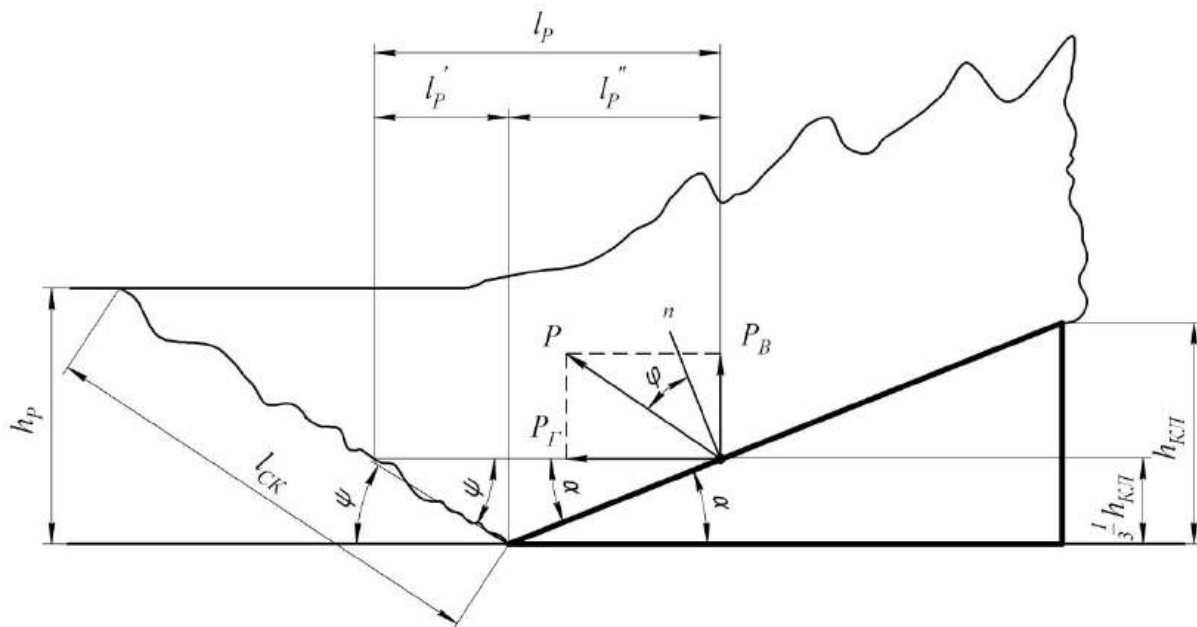


Рис. 1. Схема к определению площади скола рабочим органом при классическом и блокированном рыхлении почвы

Длина плоскости скола определится (рис. 1):

$$l_{CK} = \frac{h_p}{\sin \psi} = \frac{h_p}{\sin \left( 90^\circ - \frac{\alpha + \varphi + \varphi'}{2} \right)}, \quad (1)$$

где  $h_p$  – глубина обработки, м;

$\psi$  – угол скола, градус.

$\alpha$  – угол крошения, град;

$\varphi$  – угол трения почвы о сталь, град;

$\varphi'$  – внутреннего трения, град.

Площадь плоскости скола при блокированном рыхлении:

$$S_{CK}^B = \frac{h_p \cdot b_{\text{л}}}{\sin \left( 90^\circ - \frac{\alpha + \varphi + \varphi'}{2} \right)}, \quad (2)$$

где  $b_{\text{л}}$  – ширина ленты, м.

Площадь скола при классическом рыхлении:

$$S_{CK}^{KL} = \frac{b_{PO} \cdot h_p + h^2 \cdot \tan \frac{\theta}{2}}{\sin \psi}, \quad (3)$$

где  $b_{PO}$  – ширина захвата рабочего органа, м.



Определим расстояние от рабочей поверхности рабочего органа до плоскости скалывания почвы, по линии действия результирующего усилия, приложенного к рабочей поверхности на высоте  $\frac{1}{3}h_p$  от дна борозды:

$$l_p = l'_p + l''_p, \quad (4)$$

$$l_p = \frac{h_p}{3 \cdot \operatorname{tg} \alpha} + \frac{h_p}{3 \cdot \operatorname{tg} \psi} = \frac{h_p}{3} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \psi). \quad (5)$$

Для определения количества энергии, необходимого для деформации и крошения пласта почвы, используем выражение, предложенное профессором Г.И. Покровским для единицы объёма при динамическом воздействии деформатором [1]:

$$U_o = \frac{M \cdot V_o^2}{2} = \rho \cdot \frac{h_p \cdot b \cdot L_o \cdot V_o^2}{2}, \quad (6)$$

где  $L_o$  – расстояние распространения энергии, м;

$\rho$  – плотность почвы, кг/м<sup>3</sup>;

$V_o$  – скорость деформирования, м/с.

Величина подведённой энергии изменяется пропорционально расстоянию от рабочей поверхности до рассматриваемого сечения пласта почвы по зависимости [1]:

$$U_i = U_o \cdot e^{-\beta \cdot l_i}, \quad (7)$$

где  $\beta$  – коэффициент поглощения энергии в почве;

$l_i$  – расстояние от рабочей поверхности до рассматриваемого сечения пласта почвы, м.

В формулу (7) подставим выражения (5), (6) и определим количество энергии, в плоскости скола на расстоянии  $l_p$  от рабочей поверхности рабочего органа:

$$U_{ск} = \rho \cdot \frac{h_p \cdot b \cdot L_o \cdot V_o^2}{2} \cdot e^{-\frac{\beta \cdot h_p}{3} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \psi)}. \quad (8)$$

Количество поглощённой энергии в рассматриваемом сечении определится по формуле [2]:

$$\mathcal{E} = \beta \cdot \frac{U_i}{S}, \quad (9)$$

где  $S$  – площадь поверхности скола, м<sup>2</sup>.

Используя формулы (9) и (2), определим для заблокированного рыхления количество поглощённой энергии в плоскости скола:

$$\mathcal{E}^B = \beta \cdot \rho \cdot \frac{L_o \cdot V_o^2 \cdot e^{-\frac{\beta \cdot h_{кз}}{3} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \psi)} \cdot \sin \left( 90^\circ - \frac{\alpha + \varphi + \varphi'}{2} \right) \cdot \sin \psi}{2}. \quad (10)$$

Для классического рыхления:

$$\mathcal{E}^{KL} = \beta \cdot \rho \cdot \frac{h_p \cdot b_{PO} \cdot L_o \cdot V_o^2 \cdot e^{-\frac{\beta \cdot h_{кз}}{3} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \psi)} \cdot \sin \left( 90^\circ - \frac{\alpha + \varphi + \varphi'}{2} \right)}{2 \cdot \left( \frac{b_{PO} \cdot h_p + h^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}}{\sin \psi} \right)}. \quad (11)$$

где  $\frac{\theta}{2}$  – угол поперечного скола пласта почвы от стрелчатой лапки, град.

Очевидно, что концентрация энергии при заблокированном сечении больше классического и можно предположить, что эффективность рыхления в большей степени определится более ускоренным процессом деформирования и рыхления уплотнённой почвы.

Эффективность предполагаемого способа рыхления по сравнению с классическим можно оценить сравнительным коэффициентом эффективности используемой энергии:

$$K_{\varepsilon} = \frac{\varepsilon^B}{\varepsilon^{KL}}. \quad (12)$$

Он определяется состоянием почвы  $\rho_i$ , параметрами рабочего органа и глубиной обработки.

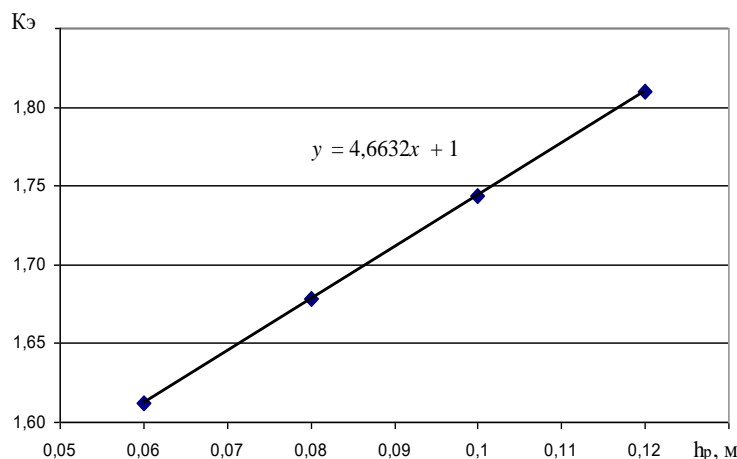


Рис. 2. Изменение сравнительного коэффициента энергетической эффективности разуплотнения почвы процесса

Сравнительный коэффициент энергетической эффективности показывает насколько энергетическая эффективность предлагаемого блокированного способа рыхления почвы больше классического (рис. 2).

Оценка энергетической эффективности предлагаемого способа в сравнении с классическим по сравнительному коэффициенту  $K_{\varepsilon}$  показывает, что при глубине рыхления 0,06 м он составляет 61%, а на глубине 0,12 м – 81% и представляет прямопропорциональную зависимость.

Приведенные экспериментальные данные доказывают преимущество предлагаемого блокированного способа разуплотнения почвы по сравнению с классическим.

#### Библиографический список

1. Покровский, Г.И. Исследования по физике грунтов. – М. : ОНТИ, 1937. – 136 с.
2. Кацыгин, В.В. К вопросу исследования процессов обработки почв // Вопросы земледельческой механики. – Т. VII. – Минск, 1961. – С. 28-59.

УДК 631.312.62

Мусин Р.М. к.т.н., доцент; Мингалимов Р.Р. аспирант

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНО-ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ КУЛЬТИВАТОРНОГО АГРЕГАТА С АКТИВНЫМ ПРИВОДОМ ОПОРНЫХ КОЛЕС

*Представлены результаты многофакторного эксперимента, позволяющего выявить степень влияния каждого из факторов на параметры рабочих органов-двигателей, выявлены взаимодействия между ними и найдены оптимальные сочетания действующих факторов, а также в статье приводится сравнение результатов, полученных при лабораторно-полевых испытаниях культиваторных агрегатов Т-25А+КРН-4,2 и Т-25А+КРН-4,2 с активным приводом опорных колес.*

*The multifactorial experiment results are submitted, allowing to reveal the degree of each of factors influence active working parts on parameters, the interactions between them are revealed and the optimum combinations of working factors are found. In the article the comparison of results, obtained at laboratory – field trials cultivator units Т-25А+КРН-4,2 and Т-25А+КРН-4,2 testing with an anvil wheels active drive.*

Целью экспериментального исследования было выявление влияния различных факторов на энергетические и силовые показатели рабочих органов-двигателей с эксцентриковым барабаном и установление их функциональных зависимостей от доминирующих факторов. Кроме этого, диспер-

сионный анализ результатов эксперимента позволил получить значительно больше информации, чем эксперимент, основанный на традиционных принципах установления однозначных зависимостей последовательным изучением действия каждого фактора.

Основной задачей планирования эксперимента являлось статистическое описание степени влияния удельных затрат мощности рабочими органами-двигателями и формирование ими движущей силы уравнениями регрессии первой степени [2].

В качестве критериев оптимизации рабочих органов-двигателей принимались:

- $Y_1 = N/F$  – удельная мощность, кВт/м<sup>2</sup>;
- $Y_2$  – движущая сила, (составляющая  $R_x$  реакции почвы), кН.

После этого на основании предварительного и тщательного анализа литературных данных по теме исследования выбирались действующие факторы ( $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$ ), определялась степень влияния каждого из них на переменные  $Y_1$  и  $Y_2$ , где  $X_1$  – окружная скорость экспериментального колеса, м/с;  $X_2$  – подача на рабочий орган-двигатель, м;  $X_3$  – тяговое сопротивление, кН;  $X_4$  – угол входа рыхлителей в почву, град;  $X_5$  – догрузка на колесо-рыхлитель, кН. Варьирование факторами осуществлялось на 2 уровнях.

Таблица 1

Значения и уровни варьирования факторов

Интервал варьирования	Значения факторов				
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
Основной	2,10	0,05	0,6	25°	1,5
Интервал варьирования, $\varepsilon$	0,92	0,01	0,3	5°	0,5
Верхний (+)	3,02	0,06	0,9	30°	2
Нижний (-)	1,18	0,04	0,3	20°	1

В результате многофакторного эксперимента и математической обработки данных исследования получена линейная модель факторов, влияющих на удельные затраты мощности  $Y_1$  и движущую силу  $Y_2$ . С целью определения оптимального сочетания факторов в исследуемых процессах после получения математической модели производился их анализ на экстремум. Для более глубокого исследования влияния отдельных факторов и их взаимодействий на выбранные параметры оптимизации результаты опытов были обработаны методом множественного регрессионного анализа [1]. После данного статического анализа уравнения регрессии в окончательном виде запишутся:

$$Y_1 = 2,61 + 0,718 X_1 - 0,06 X_2 + 0,239 X_3 + 0,13 X_4 - 0,525 X_5 + 0,069 X_1 X_3 + 0,216 X_1 X_5 + 0,07 X_2 X_3 \quad (1)$$

$$Y_2 = 0,589 - 0,043 X_1 + 0,029 X_2 + 0,093 X_3 + 0,108 X_4 - 0,07 X_5 \quad (2)$$

Из уравнения (1) следует, что увеличение окружной скорости опорного колеса с рабочими органами-двигателями ( $X_1$ ), так же как и догрузка на колесо-рыхлитель ( $X_5$ ), вызывают заметные изменения энергозатрат.

Значительная мощность требуется при обработке с углом входа рыхлителей  $\xi = 30^\circ$ , чем при угле входа  $\xi = 20^\circ$ . Только увеличение подачи на рабочий орган-двигатель ( $X_2$ ) вызывает соответствующее уменьшение затрат потребной мощности.

Из парных взаимодействий наиболее существенное влияние оказывают сочетания факторов, связанные с окружной скоростью рабочих органов-двигателей и догрузкой на колесо-рыхлитель. Сочетание факторов с тяговым сопротивлением ( $X_3$ ) также оказывает значительное воздействие на затраты мощности.

Выбранные факторы не в равной степени влияют на изменение потребляемой мощности. Для количественной оценки эффектов влияния факторов построена диаграмма, которая дает наглядное представление о степени влияния каждого из факторов и их взаимодействий, позволяет выделить наиболее значимые эффекты (рис. 1).

Из уравнения регрессии (2) видно, что в заданном интервале варьирования наиболее заметное влияние на движущую силу оказывают изменение тягового сопротивления ( $X_3$ ) и угла входа рыхлителей в почву ( $X_4$ ).

Характер зависимости показывает, что с увеличением тягового сопротивления происходит менее интенсивное возрастание движущей силы. Например, увеличение тягового сопротивления до 0,9 кН, т.е. в четыре раза, вызывает возрастание формируемой активным колесом-рыхлителем силы только в 1,35 раза. Также с увеличением угла входа рыхлителей в почву происходит увеличение движущей силы до некоторого его значения. Количественная оценка эффектов влияния факторов уравнения приведена в диаграмме эффектов, представленной на рисунке 2.

Сравнительная оценка агрегата с рабочими органами-двигателями и навесного культиватора проводится с целью определения номинальной мощности двигателя трактора Т-25А для агрегатирования с экспериментальным культиватором и тягово-сцепных и технико-экономических показателей на одинаковых почвенных фонах как экспериментальной установки, так и агрегата с пассивными рабочими-органами, выполняющему аналогичные функции в системе обработки почвы.

Испытания показали, что вследствие высокого тягового сопротивления, серийный культиватор для междурядной обработки почвы не может агрегатироваться с трактором Т-25А в тяговом режиме. В этом случае буксование ведущих колес трактора в несколько раз превышает агротехнически допустимое и в условиях повышенной влажности почвы достигает 60-100 %.

Применение привода опорных колес-рыхлителей КРН-4,2 позволило уменьшить буксование ведущих колес трактора до 5-12%. При этом производительность агрегата при передаточном отно-

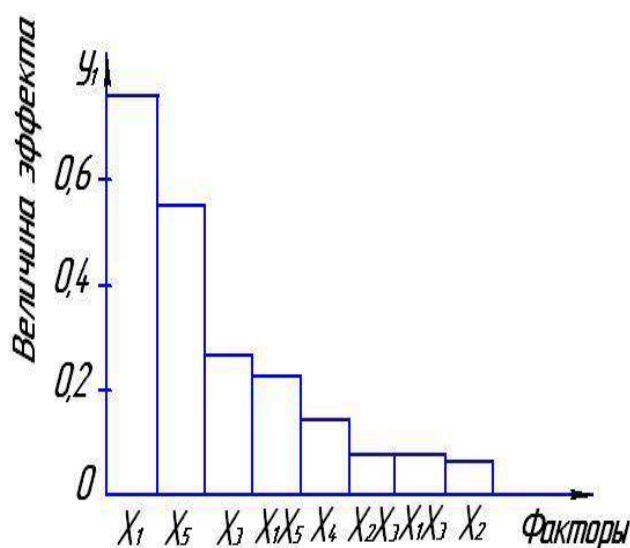


Рис. 1. Диаграмма эффектов влияния факторов на удельные затраты мощности рабочих органов двигателей

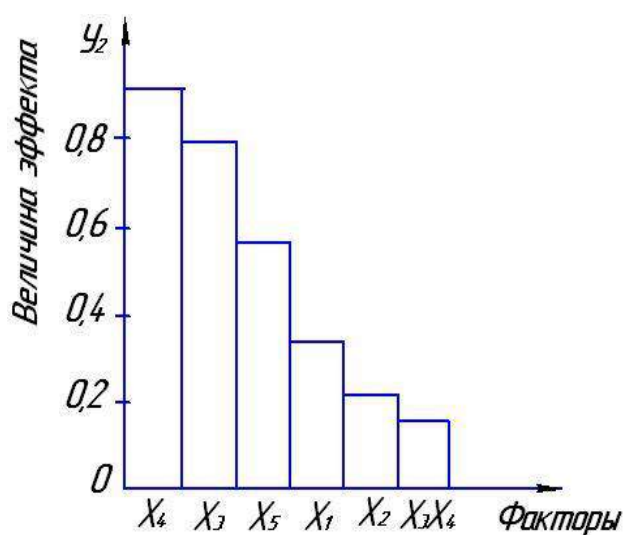


Рис. 2. Диаграмма эффектов влияния факторов формирования движущей силы рабочими органами-двигателями

шению трансмиссии трактора  $i=42,5$  составила 2,9 га/ч. Более низкая производительность исследуемого агрегата, по сравнению с расчетной (3,05 га/ч) вызвана проведением сравнительных испытаний на поле с повышенной влажностью и, следовательно, более высоким удельным тяговым сопротивлением культиватора.

В результате испытаний и расчетов по существующим методикам установлено, что плотность почвы по колее опорных колес-рыхлителей КРН-4,2 ( $\rho=1,02-1,10$  г/см<sup>3</sup>) меньше плотности почвы после прохождения серийного агрегата Т-25А+КРН-4,2 ( $\rho=1,11-1,17$  г/см<sup>3</sup>), при этом плотность почвы по колее трактора исследуемого агрегата составила  $\rho=1,07$  г/см<sup>3</sup>.

Повышенная неравномерность буксования объясняется тем, что при работе серийных агрегатов с трактором Т-25А буксование ведущих колес достигает 16-22%. Известно, что при данном буксовании ведущих колес резко увеличиваются его колебания как в горизонтальном, так и вертикальном направлении [3,4].

В исследуемом агрегате применение опорных колес-рыхлителей позволило уменьшить удельное тяговое сопротивление культиватора КРН-4,2 на 30-40%. При поддержании рационально-

го распределения тягового усилия между ведущими осями исследуемого агрегата средняя нагрузка на крюке трактора Т-25А находится в пределах 4-6 кН. При этом буксование ведущих колес агрегата во всем диапазоне изменения технологической массы и тягового сопротивления культиватора не превышало 12%, т.е. меньше допустимой величины ( $\delta$ ) (включая работу на поле с повышенной влажностью почвы).

В результате экспериментальных исследований агрегата Т-25А+КРН-4,2 с приводом опорных колес-рыхлителей установлено: среднее значение буксования ведущих колес трактора Т-25А составило 8,7%.

Следует отметить, что культиватор КРН-4,2 является скоростной машиной, допустимая рабочая скорость которой достигает 7-9 км/ч [4]. В связи с этим возможно дальнейшее повышение производительности исследуемого агрегата путем повышения его действительной скорости до максимально допустимой. Однако, для этого необходимо повышение номинальной мощности двигателя. Благодаря снижению тягового сопротивления за счет активных колес-рыхлителей, погектарный расход топлива и удельные энергозатраты на данном режиме при работе трактора с серийным культиватором выше, чем с предлагаемым КРН-4,2 с активными колесами - рыхлителями соответственно на 0,8 кг/га и 4 кВт·ч/га.

Из уравнений (1,2) следует, что все выбранные факторы влияют на затраты мощности и участвуют в формировании движущей силы. Наиболее заметное влияние на движущую силу оказывают изменение тягового сопротивления ( $X_3$ ) и угол входа рыхлителей в почву ( $X_4$ ), а на изменение энергозатрат - окружная скорость  $X_1$  опорного колеса с рабочими органами-двигателями и догрузка на колесо-рыхлитель  $X_5$ . Это подтверждает правильность выбора действующих факторов и достоверность результатов исследований, проведенных в этом направлении однофакторным экспериментом.

Результаты лабораторно-полевых исследований показали, что для достижения максимально допустимой рабочей скорости исследуемого агрегата, при соблюдении рационального режима работы, необходима номинальная мощность двигателя колесного трактора класса тяги 0,6 не менее 20-25 кВт, в зависимости от КПД привода опорных колес-рыхлителей, а также в условиях повышенной влажности почвы агрегат Т-25А+КРН-4,2 с приводом опорных колес-рыхлителей имеет более высокие тягово-сцепные и технико-экономические показатели.

#### Библиографический список

1. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – Л. : Колос, 1980. – 168 с.
2. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. – М. : Колос, 1973. – 199 с.
3. Планов, В.Ф. Полноприводные автомобили. – М. : Машиностроение, 1989. – 312 с.
4. Смирнов, Г.А. Теория движения колесных машин. – М. : Машиностроение, 1981. – 271 с.

УДК 631.316

Мусин Р.М. к.т.н., доцент; Гашенко А.А. аспирант

### СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ КУЛЬТИВАТОРНОГО АГРЕГАТА В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

*Проведен анализ способов повышения устойчивости движения культиваторных агрегатов, разработана классификация и выявлены наиболее рациональные пути повышения устойчивости культиваторов. Получены уравнения движения культиваторного агрегата с точки зрения изменения угловых колебаний под воздействием сил сопротивления.*

*Ways of steady movement cultivator aggregate are analyzed, classification is developed and ways of the raised stability agricultural aggregate are revealed. The equations of movement cultivator from change of angular fluctuations under resistance influence are received.*

Одной из основных задач в агропромышленном производстве является увеличение сельскохозяйственной продукции и снижение её себестоимости. Успешное решение этой задачи в значительной степени зависит от эффективности использования средств механизации и, в частности, от производительности машинно-тракторных агрегатов.

Повышение производительности машинно-тракторных агрегатов может быть достигнуто двумя путями: увеличением ширины захвата агрегатов и повышением скорости поступательного движения. Однако чрезмерное увеличение ширины захвата агрегатов делает их весьма громоздкими и неустойчивыми в работе. Кроме того, такие агрегаты теряют маневренность и трудно поддаются управлению. В силу этого применение широкозахватных агрегатов на целом ряде операций не дает требуемого эффекта.

В связи с этим возникает необходимость более широко использовать второй путь повышения производительности машинно-тракторных агрегатов – увеличение скорости их движения. Но это, в свою очередь, требует изучения и разработки целого комплекса технических вопросов. Среди них большой удельный вес должны, очевидно, занимать вопросы устойчивости движения рабочих органов и машины в целом, поскольку от этого в значительной степени зависят технологические и эксплуатационные показатели работы машин [1].

Культиваторы, применяемые в сельском хозяйстве, являются геометрически симметричными орудиями. В процессе работы на равнине силы, действующие на рабочие органы культиваторов, уравниваются друг друга. Результирующая сил сопротивления совпадает с линией тяги агрегата. Культиватор перемещается по линии движения трактора и является динамически симметричной системой [2]. Однако возрастание масс, моментов инерции и других механических параметров машин, а также скоростей движения агрегатов приводит к существенному изменению их динамических качеств. При использовании культиваторов с активными движителями-рыхлителями устойчивость движения нарушается, так как движители-рыхлители создают определенную движущую силу. В результате чего культиватор “накатывается” на трактор и “подталкивает” его, движение культиватора становится зигзагообразным [3]. Поэтому для повышения устойчивости культиваторов с движителями-рыхлителями целесообразно применять устройства, предотвращающие отклонения от прямолинейного движения. Эти устройства должны обеспечивать устойчивое движение культиватора, сохраняя заданную величину защитных зон и предотвращающие подрезание культурных растений в рядках.

Проведем исследование устойчивости движения культиваторного агрегата в горизонтальной плоскости. При работе колесного трактора с задней навеской, составляющей в горизонтальной плоскости кинематически единое целое с трактором, на него действуют силы сопротивления рабочих органов культиватора, а также упругие реакции шин, силы сопротивления перекачиванию ведомых и движущие силы ведущих колес. Учитывая изложенное, при составлении дифференциального уравнения возмущенного движения агрегата будем учитывать силы сопротивления рабочих органов пропашного культиватора.

Таким образом, к трактору (рис. 1) в точке  $D$  – центре приведения – под углом  $\chi$  к плоскости симметрии приложен главный вектор  $\bar{R}$  сил сопротивления и их главный момент  $M_D$ , причем при  $v_0 = const$  справедливы формулы [4]:

$$R = const; \chi = \alpha_0 \delta_D; M_D = \beta_0 \delta_D \quad (1)$$

Приложенные к колесам поперечные  $\bar{T}_A$  и  $\bar{T}_B$  и пары сил  $M_A$  и  $M_B$  будем определять по формулам:

$$T = c\Delta; M = f\psi; \psi = k\Delta, \quad (2)$$

где  $T$  и  $M$  – соответственно поперечная сила и стабилизирующий момент, возникающие при уводе колеса;  $\Delta$  и  $\psi$  – поперечная и угловая деформации шины;  $c$  и  $f$  – коэффициенты ее поперечной и угловой жесткости;  $k$  – коэффициент пропорциональности между деформациями.

Рассмотрим случай прямолинейного и равномерного движения центра масс  $S$  агрегата относительно неподвижной плоскости  $X_1O_1Y_1$  (рис. 1).

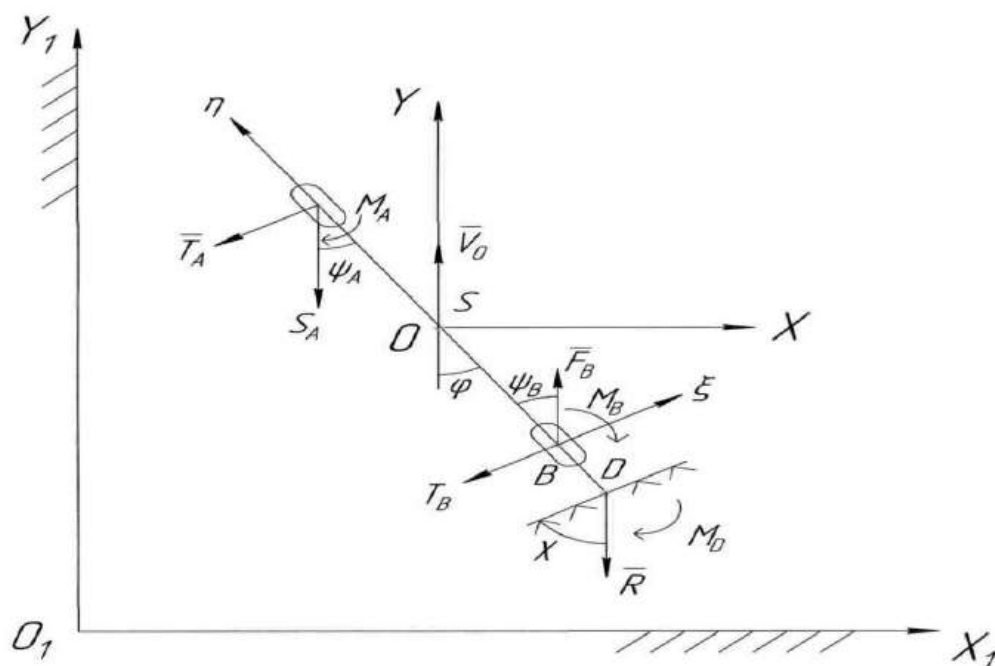


Рис. 1. Силы, действующие на культиваторный агрегат

С центром масс агрегата свяжем начало поступательно – движущейся системы координат  $XOY$ . В относительном движении агрегат (плоскость  $\xi B\eta$ , жестко связанная с его рамой) вращается относительно оси  $SY$ , совпадающей с осью  $OY$ .

Очевидно, движение плоскости  $XOY$  соответствует основному (невозмущенному) поступательному движению агрегата. Поворот же плоскости  $\xi B\eta$  относительно плоскости  $XOY$  представляет собою возмущения основного движения.

Дифференциальные уравнения абсолютного движения агрегата [5]:

$$m\ddot{x}_S = \sum F_{ix}; \quad m\ddot{y}_S = \sum F_{iy}; \quad J_S\ddot{\phi} = \sum M_S(\bar{F}_i).$$

Подставим значения внешних сил в правые части этих уравнений и учтем малость угла  $\varphi$ , тогда, как следует из рисунка 1,

$$m\ddot{x}_S = -T_A - T_B + S_A(\varphi + \psi_A) - F_B(\varphi - \psi_B) + R(\varphi - \chi); \quad (3)$$

$$m\ddot{y}_S = F_B - S_A - R = 0; \quad (4)$$

$$J_S\ddot{\phi} = aT_A - bT_B - M_A - M_B - M_D + aS_A\psi_A + bF_B\psi_B + dR\chi, \quad (5)$$

где  $a = SA$  и  $b = SB$  – расстояние от центра масс  $S$  до переднего  $A$  и заднего  $B$  эквивалентных колес;  $d = SD$  – расстояние от центра масс до центра  $D$  приведения сил сопротивления.

При равномерном ( $\dot{y}_S = v_0 = \text{const}$ ) движении центра масс агрегата его ускорение  $\ddot{y}_S = 0$ , из уравнения (4) в этом случае следует

$$F_B = S_A + R \quad (6)$$

Найдем угол  $\delta_D$  между вектором  $\bar{v}_D$  скорости центра сопротивления  $D$  и плоскостью симметрии агрегата. Очевидно,  $\bar{v}_D = \bar{v}_0 + \bar{v}_{DO}$ , где  $\bar{v}_{DO} = d\dot{\phi}$ .

Спроектировав это векторное равенство на оси координат  $\xi$  и  $\eta$ , связанные с рамой трактора, получим  $v_\xi = v_0\varphi - d\dot{\phi}$ ;  $v_\eta = v_0$ , откуда

$$\delta_D = \varphi - \frac{d}{v_0}\dot{\phi}. \quad (7)$$

Подставив в уравнения (3) и (5) значения входящих в них величин из формул (1), (2), (6) и (7) приведем их к виду:

$$m\ddot{x}_S = -(c_A + k_A S_A)\Delta_A - [c_B - k_B(S_A + R)]\Delta_B - \alpha_0 R \left( \varphi - \frac{d}{v_0} \dot{\varphi} \right); \quad (8)$$

$$J_S \ddot{\varphi} = (ac_A - f_A k_A + ak_A S_A)\Delta_A - [bc_B + f_B k_B - bk_B(S_A + R)]\Delta_B + (\alpha_0 R d - \beta_0) \left( \varphi - \frac{d}{v_0} \dot{\varphi} \right). \quad (9)$$

Перейдем к отысканию зависимостей между деформациями  $\Delta_A$  и  $\Delta_B$  и скоростями деформаций  $\dot{\Delta}_A$  и  $\dot{\Delta}_B$ .

Абсолютные скорости центров  $A$  и  $B$  колес:

$$\bar{v}_A = \bar{v}_0 + \bar{v}_{AO} = \bar{v}_{\Delta A} + \bar{v}_{\psi A}; \quad (10)$$

$$\bar{v}_B = \bar{v}_0 + \bar{v}_{BO} = \bar{v}_{\Delta B} + \bar{v}_{\psi B}, \quad (11)$$

где  $\bar{v}_{AO} = \alpha \dot{\varphi}$ ;  $\bar{v}_{BO} = b \dot{\varphi}$ ;  $v_{\Delta A} = \dot{\Delta}_A$ ;  $v_{\Delta B} = \dot{\Delta}_B$ ;  $v_{\psi A} \approx v_{\psi B} \approx v_0$ .

Спроектировав эти векторные равенства на ось  $B\xi$ , перпендикулярную плоскости симметрии трактора, получим два дифференциальных уравнения для деформаций  $\Delta_A$  и  $\Delta_B$ :

$$\begin{cases} \dot{\Delta}_A + k_A v_0 \Delta_A = v_0 \varphi - a \dot{\varphi}; \\ \dot{\Delta}_B + k_B v_0 \Delta_B = v_0 \varphi + b \dot{\varphi}. \end{cases} \quad (12)$$

В уравнении (9) для сокращения выкладок введем обозначения

$$\left. \begin{aligned} ac_A - f_A k_A + ak_A S_A &= M; \\ bc_B + f_B k_B - bk_B(S_A + R) &= N; \\ J_S \ddot{\varphi} - (\alpha_0 R d - \beta_0) \left( \varphi - \frac{d}{v_0} \dot{\varphi} \right) &= f_1(t). \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Тогда уравнение (9) примет вид:

$$M\Delta_A - N\Delta_B = f_1(t). \quad (14)$$

Продифференцировав это уравнение по времени с учетом соотношений (12), получим

$$-k_A v_0 M \Delta_A + k_B v_0 N \Delta_B = f_2, \quad (15)$$

где

$$f_2 = f_1 - M(v_0 \varphi - a \dot{\varphi}) + N(v_0 \varphi + b \dot{\varphi}).$$

Поскольку  $k_A \neq k_B$ , решим уравнения (14) и (15) как систему алгебраических уравнений относительно  $\Delta_A$  и  $\Delta_B$ ; тогда

$$\Delta_A = \frac{f_2 + k_B v_0 f_1}{(k_B - k_A) v_0 M}; \quad \Delta_B = \frac{f_2 + k_A v_0 f_1}{(k_B - k_A) v_0 N}. \quad (16)$$

После подстановки значений  $\Delta_A$ ,  $\dot{\Delta}_A$ ,  $\Delta_B$  и  $\dot{\Delta}_B$  в выражения (12) получим

$$v_0 (k_B - k_A) (v_0 \varphi - a \dot{\varphi}) M = \dot{f}_2 + k_B v_0 \dot{f}_1 + k_A v_0 (f_2 + k_B v_0 f_1); \quad (17)$$

Подстановка значений  $f_1$ ,  $\dot{f}_1$ ,  $f_2$  и  $\dot{f}_2$  в найденные соотношения приводит их фактически к одному уравнению угловых колебаний агрегата:

$$a_0 \varphi + a_1 \ddot{\varphi} + a_2 \dot{\varphi} + a_3 \varphi + a_4 \varphi = 0. \quad (18)$$

где  $a_0 = J_S$ ;

$$a_1 = \frac{1}{v_0} [(k_A + k_B) J_S v_0^2 + d(\alpha_0 R d - \beta_0)];$$

$$a_2 = k_A k_B J_S v_0^2 + aM + bN + (\alpha_0 R d - \beta_0) [(k_A + k_B) d - 1];$$

$$a_3 = v_0 [(ak_B - 1)M + (bk_A + 1)N + (\alpha_0 R d + \beta_0) (k_A k_B d - k_A - k_B)];$$

$$a_4 = v_0^2 [k_A N - k_B M - k_A k_B (\alpha_0 R d - \beta_0)].$$





Таким образом, проведенное исследование показывает, что в реальных случаях наряду с основными факторами всегда существуют дополнительные случайные воздействия, выводящие систему из состояния установившегося движения. Так, при движении культиваторного агрегата по поверхности поля дополнительное динамическое воздействие на агрегат могут оказывать неровности рельефа, неоднородность почвы по составу, влажности и механическим свойствам, камни, корни растений и т.п., сообщающие системе дополнительные перемещения и скорости.

Существуют несколько способов повышения устойчивости культиватора (рис. 2): уменьшение поперечных колебаний трактора, настройка навески трактора, применение усовершенствованных основных рабочих органов и применение дополнительных устройств. Простейший способ добиться повышения устойчивости культиватора является блокировка нижних звеньев механизма навески трактора. Однако использование данного способа возможно лишь при прямолинейно посаженных рядах сельскохозяйственных культур. На криволинейных рядах затрудняется маневрирование агрегата. При этом все возмущающие факторы передаются на трактор, ухудшая условия его вождения.

Применение дополнительных устройств может значительно повысить курсовую устойчивость культиваторного агрегата. Дополнительные устройства делятся на: автоматические и механические. Автоматические включают в себя системы автоматического вождения почвообрабатывающих агрегатов. Например, устройство для автоматического вождения по светоконтрастной программе или применение компасного механизма слежения. Автоматические устройства обеспечивают высокую точность вождения на повышенных скоростях, однако они очень сложны в эксплуатации. Механические устройства наиболее просты по конструкции и надёжны в работе. К ним относятся: система щелерезов – стабилизаторов, ножи – стабилизаторы, копиры – направители и дисковые стабилизаторы. Принцип их действия основан на удержании культиваторного агрегата за счет реакции почвы на боковую стенку.

Система щелерезов – стабилизаторов представляет собой установленные на основе трактора щелерезы и смонтированные на раме сельскохозяйственной машины стабилизаторы направления её движения. Движение машины происходит по направляющим щелям, позволяющие ориентированное прямолинейное движение с минимальной защитной зоной рядка, а также снижение возмущающих взаимных воздействий трактора и рабочей машины [6].

Повышение устойчивости движения культиватора также обеспечивается использованием ножей – стабилизаторов, которые создают апериодический тип движения при возвращении машины к первоначальному курсу после получения некоторого возмущения. При движении культиватора с дисковым стабилизатором рама отклоняется на некоторый угол к направлению движения. С рамой поворачивается и дисковый стабилизатор. Это приводит к возникновению на диске реакции сопротивления почвы, что способствует выравниванию машины. При достаточной глубине хода и площади диска можно получить большую силу при незначительной деформации почвы, поэтому способ стабилизации культиваторов с помощью диска является весьма универсальным.

На основе анализа способов повышения устойчивости движения культиваторов была разработана классификация (рис. 2), и выявлено, что наиболее эффективным способом повышения устойчивости движения культиватора является использование активных дисковых стабилизаторов. Это проявляется в том, что активный дисковый стабилизатор, привод которого осуществляется от вала отбора мощности трактора, совмещает выполнение трёх операций: работа в режиме движителей, поскольку создает реакции, направленные по ходу движения агрегата, стабилизация движения и дополнительное рыхление почвы. При этом необходимо экспериментально определить и учесть факторы, влияющие на курсовую устойчивость движения культиватора.

#### Библиографический список

1. Бабий, П.Т. Исследование устойчивости движения рабочих органов культиваторов : автореф. дис. ... канд. тех. наук. – Киев, 1961. – 15 с.
2. Дорохин, С.В. Обзор устройств, повышающих устойчивость культиваторов при движении поперек склонов // Проблемы и перспективы лесного комплекса : сб. науч. трудов Воронеж. гос. лесотехн. акад. – Воронеж, 2005. – Т. 1. – С. 126-129.

3. Кормщиков, А.Д. Результаты экспериментальных исследований устойчивости движения агрегатов с фрезерными рабочими органами / Кормщиков А.Д., Шубин О.А., Курбанов Р.Ф. // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики : сб. науч. трудов Вятской ГСХА. – Киров, 2004. – Вып. 4. – С. 109-116.

4. Гячев, Л.В. Устойчивость движения сельскохозяйственных машин и агрегатов. – М. : Машиностроение, 1981. – 206 с.

5. Лурье, А.Б. Моделирование сельскохозяйственных агрегатов и их систем управления. – Л. : Колос, 1979. – 312 с.

6. Анализ устойчивости движения машины по направляющим щелям / Орлов Н.М., Полушкин А.В., Ангелов В.Н., Лихобаба Ю.В. // Интенсификация и автоматизация технологических процессов работы комплексов машин для сахарной свеклы и кукурузы : сб. науч. трудов. – М., 1988. – С. 37-44.

УДК 631.316.001

Мусин Р.М. д.т.н., доцент; Гашенко А.А. аспирант

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДИСКОВОГО СТАБИЛИЗАТОРА ДВИЖЕНИЯ КУЛЬТИВАТОРА

*Рассмотрен диск как стабилизирующий элемент в конструкции культиватора, приведены формулы для определения геометрических параметров диска.*

*The disk as a stabilizing element in a cultivator design is considered, formulas for definition of disk geometrical parameters are resulted.*

При работе сельскохозяйственного агрегата на него действуют различные возмущения в виде переменного уклона местности, неровностей поверхности полей и неоднородности почвы по механическому составу. Эти возмущения сообщают агрегату, как механической системе, дополнительные перемещения, скорости и ускорения. Механическая система после получения возмущающих воздействий реагирует на них по-разному. В одних случаях после прекращения возмущений система возвращается к установившемуся состоянию, в других случаях отклонения траекторий движения точек системы от траектории в установившемся движении возрастают [1].

В полевых условиях при движении симметричных машин в горизонтальной плоскости нарушается устойчивость в результате неравномерности сопротивления почвы по всей ширине захвата. Особенно остро стоит вопрос устойчивости движения при обработке пропашных культур. Так, для снижения повреждаемости растений и выполнения технологического процесса на более высокой скорости увеличивается защитная зона ряда [2].

Движение симметричной машины, агрегатируемой с трактором, можно описать как гармоническое колебание в горизонтальной плоскости без учета колебания трактора. Стабильность движения при этом обеспечивается наличием стабилизирующих моментов.

Для обеспечения ориентированного прямолинейного движения с минимальной защитной зоной ряда, а также для снижения возмущающих взаимных воздействий трактора и рабочей машины, используются направляющие щели. По щелям двигаются стабилизаторы, которые жестко укреплены на раме рабочей машины и обеспечивают её колебания в пределах величины щели.

От площади активной поверхности стабилизатора зависит величина отклонения машины [2]. Рассмотрим случай, когда стабилизатор движется по заранее нарезанным щелям, а навесное устройство трактора частично свободно.

Отклонение машины от оси движения описывается линейным дифференциальным уравнением 2 – го порядка с постоянными коэффициентами:

$$\ddot{y} + 2ny + k^2 y = 0, \quad (1)$$

где  $n$  – диссипативный коэффициент, отражающий только силы сопротивления при свободно затухающих колебаниях диссипативной системы с одной степенью свободы;

$k$  – квазиупругий коэффициент по принципу действия квазиупругой силы, которая пропорциональна и противоположна направлению смещения тела относительно точки равновесия и в отсутствие других сил вызывает гармоническое колебание тела.

Допустим, что модель машины – физический маятник, колеблющийся относительно точки  $A$  под действием постоянной по модулю силы  $\bar{R}$ , приложенной в центре сопротивления рабочих органов  $O$  и действующей на одной линии со скоростью точки  $O$ , но в противоположную сторону (рис. 1).

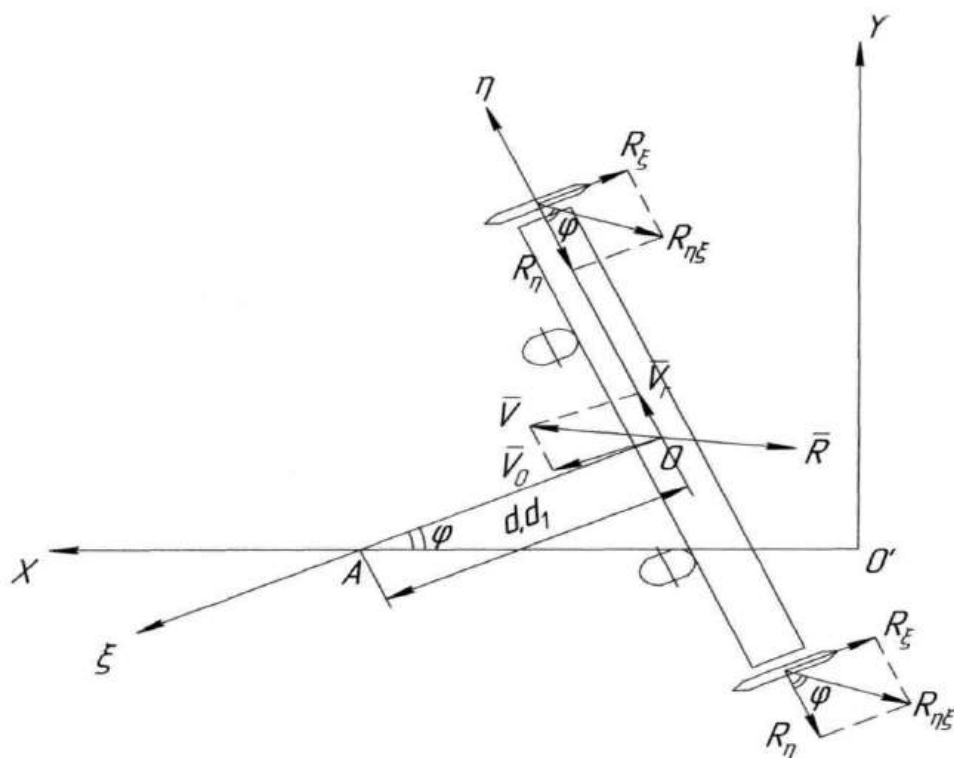


Рис. 1. Схема плоскопараллельного движения машины по направляющим щелям

Выберем две системы координат осей. Плоскость  $XO'Y$  неподвижной системы координат совмещена с поверхностью поля, ось  $O'X$  совпадает с направлением движения трактора. Подвижная система координат  $\xi O\eta$  связана с проекцией на поверхность поля центра масс машины  $O$ . Ось  $O\xi$  направлена по продольной оси машины, а ось  $O\eta$  – перпендикулярно к ней. На машину действуют следующие внешние силы в соответствии с уравнением (1):

$$\left. \begin{aligned} n &= \frac{Rd^2}{2J_0V_0}; \\ k^2 &= \frac{Rd}{J_0}, \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где  $R$  – сопротивление рабочих органов машины;

$d$  – расстояние от точки прицепа до центра сопротивления рабочих органов;

$J_0$  – момент инерции относительно продольной оси машины;

$V_0$  – переносная скорость прицепа.

При установке стабилизатора его сопротивление

$$R_{cmx} = R_1 F \sin \varphi, \quad (3)$$

где  $R_1$  – удельное сопротивление почвы стабилизатору;

$F$  – суммарная площадь активной поверхности стабилизатора.

При малом угле  $\varphi$  боковое сопротивление стабилизатора следующее:

$$R_{\xi} \approx k_1 F \sin \varphi \cos \varphi \approx k_1 F \varphi; \quad (4)$$

$$R_{\eta} \approx \frac{1}{f} k_{cm} F, \quad (5)$$

где  $f$  – коэффициент трения стабилизатора о почву;

$k_{cm}$  – коэффициент допустимого смятия почвы.

С учетом изложенного запишем:

$$\left. \begin{aligned} n &= \frac{(Rd^2 + R_1 d_1^2)}{2J_0 V_0}; \\ k^2 &= \frac{\left(Rd + \frac{1}{f} k_{cm} F d_1\right)}{J_0}, \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

где  $d_1$  – расстояние от точки прицепа до центра сопротивления стабилизатора.

При рассмотрении движения машины должно быть  $n < k$ , иначе величина  $k$  не позволит удержать машину в допустимых пределах, которая в этом случае совершает затухающие колебания по закону:

$$y = e^{-nt} \left( C_1 \cos \sqrt{k^2 - n^2} t + C_2 \sin \sqrt{k^2 - n^2} t \right), \quad (7)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – постоянные коэффициенты, которые находятся из начальных условий при  $t = 0$ ,  $y_0 = \delta$ ,  $\dot{y}_0 = 0$ ,  $C_1 = \delta$  (здесь  $\delta$  – деформация почвы стабилизирующим устройством).

$$\delta = \frac{R_{\delta}}{(k_{cm} d_1)}, \quad (8)$$

где  $R_{\delta}$  – боковое усилие, действующее на стабилизатор.

$$\begin{aligned} \dot{y} = & -ne^{-nt} \left( C_1 \cos \sqrt{k^2 - n^2} t + C_2 \sin \sqrt{k^2 - n^2} t \right) + \\ & + \sqrt{k^2 - n^2} \cdot e^{-nt} \left( -C_1 \sin \sqrt{k^2 - n^2} t + C_2 \cos \sqrt{k^2 - n^2} t \right). \end{aligned} \quad (9)$$

После преобразований получим

$$0 = -nC_1 + \sqrt{k^2 - n^2} C_2. \quad (10)$$

Отсюда

$$C_2 = \frac{n\delta}{\sqrt{k^2 - n^2}}. \quad (11)$$

Таким образом, закон движения машины с учетом допустимого смятия почвы

$$y = \delta e^{-nt} \left[ \cos \sqrt{k^2 - n^2} t + \left( \frac{n}{\sqrt{k^2 - n^2}} \right) \sin \sqrt{k^2 - n^2} t \right]. \quad (12)$$

Усилие  $R_{\delta}$  передается почве активной поверхностью стабилизатора, сдвигая его в сторону. Размер этой поверхности должен быть достаточным, чтобы реакция почвы целиком уравновесила сдвигающее усилие при её напряжении не ниже допустимого.

$$R_{\delta} = fG + k_{cm} F, \quad (13)$$

где  $G$  – вертикальная нагрузка на колесо. В качестве стабилизатора используется плоский диск со свободным вращением (рис. 2).

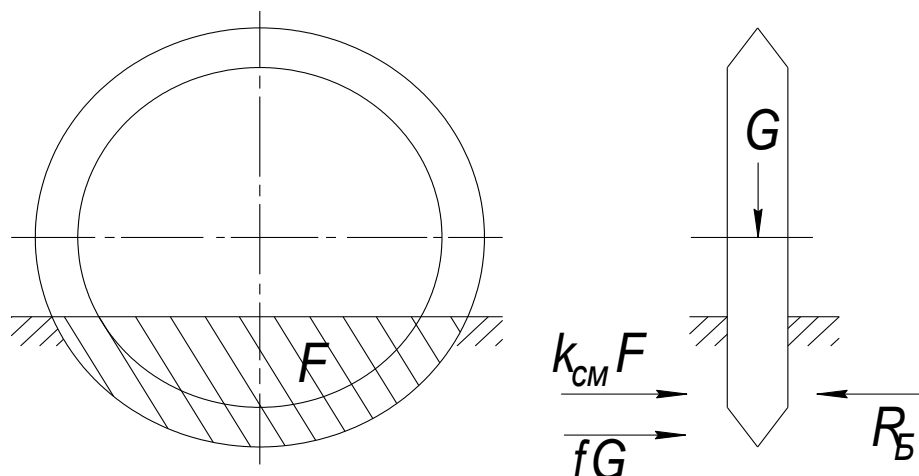


Рис. 2. Схема сил, действующих на стабилизатор

Для определения площади активной поверхности стабилизатора воспользуемся формулой определения минимального пути, проходимой машиной, с отклонением, превышающим допустимое:

$$S_{\min} = \frac{V_0 m \pi}{k \sqrt{k^2 - n^2}}, \quad (14)$$

где  $m$  – количество размахов колебаний, необходимых для уменьшения амплитуды до допустимой:

$$m = \left( \ln \frac{N}{\pi} \right) \left( \frac{\sqrt{k^2 - n^2}}{n} \right). \quad (15)$$

$$N = \frac{\Psi}{\Psi_0}, \quad (16)$$

где  $\Psi$  – угол отклонения рабочих органов крайней секции машины, проходящий через защитную зону рядка;

$\Psi_0$  – угол допустимого отклонения.

Тогда выражение (14) примет вид

$$S_{\min} = \frac{V_0 \pi \left[ \ln \frac{\Psi}{\Psi_0} \left( \frac{\sqrt{k^2 - n^2}}{n} \right) \right]}{k \sqrt{k^2 - n^2}}. \quad (17)$$

При обработке рядков сахарной свеклы культиватором со средним расстоянием между растениями  $S_{\min} = 0,1 \text{ м}$ , а  $\ln \Psi / \Psi_0 = \ln 1,2 \dots 1,5 = 0,18 - 0,40$  при минимальной защитной зоне.

Тогда

$$k = (1,8 \dots 4,0) V_0. \quad (18)$$

Подставим полученную зависимость во второе уравнение из системы (6):

$$[(1,8 \dots 4,0) V_0]^2 = \frac{\left( Rd + \frac{1}{f} k_{cm} F d_1 \right)}{J_0}. \quad (19)$$

Отсюда

$$F = \frac{(\Delta V_0)^2 J_0 - Rd}{\frac{1}{f} k_{cm} d_1}, \quad (20)$$

где  $\Delta$  – коэффициент допустимого отклонения машины:

$$\Delta = \frac{\ln \frac{\Psi}{\Psi_0}}{S_{\min}}. \quad (21)$$

Итак, площадь активной поверхности стабилизатора зависит от скорости движения, сопротивления рабочих органов машины и момента инерции относительно продольной оси машины.

#### Библиографический список

1. Кормщиков, А.Д. Теоретические основы устойчивости движения агрегатов с фрезерными рабочими органами / Кормщиков А.Д., Шубин О.А., Курбанов Р.Ф. // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики : сб. науч. трудов Вятской ГСХА. – Киров, 2004. – Вып. 4. – С. 109-116.
2. Анализ устойчивости движения машины по направляющим щелям / Орлов Н.М., Полушкин А.В., Ангелов В.Н., Лихобаба Ю.В. // Интенсификация и автоматизация технологических процессов работы комплексов машин для сахарной свеклы и кукурузы : сб. науч. трудов. – М., 1988. – С. 37-44.

УДК 631.51

Парфенов О.М. к.т.н., доцент

## ОРУДИЕ ДЛЯ БЕЗОТВАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ С КОМБИНИРОВАННЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

*В настоящее время большое распространение в растениеводстве получают технологии сберегающего земледелия, основу которых составляют безотвальные методы обработки почвы. Рассмотрен способ осенней основной безотвальной обработки почвы и орудие для его осуществления с целью накопления влаги.*

*Nowdays, new saving farm loqe distribution technologies are developing in plant growing, which bases on unmolboard methods of soil processing. The way autumn basic unmolboard soil processing and instrument for its realization with the purpose of moisture accumulation are considered.*

Наряду с повышением интенсивности сельскохозяйственного производства возросли мощность энергосредств и производительность почвообрабатывающих машин и орудий. Это позволяет своевременно и качественно производить все механические обработки, что ведет к повышению урожайности. Вместе с этим усиливаются такие нежелательные процессы, как распыление почвенных агрегатов из-за чрезмерного рыхления обрабатываемого слоя почвы и уплотнение ее многократными проходами агрегатов. Поэтому в связи с таким положением, сложившемся в сельскохозяйственном производстве, с целью сохранения плодородия почвы, накопления и сохранения влаги в почвенном горизонте, большое внимание уделяется разработке систем обработки почвы, не имеющих основных недостатков отвальной вспашки. В связи с этим в последнее время возникает задача о необходимости научно-технического обоснования систем обработки почвы и разработка отдельных приемов и орудий, рекомендуемых производству.

Разрабатываемые ранее системы плоскорезной обработки почвы оказались в то время непригодными для широкого применения в производстве из-за применения недостаточно эффективных гербицидов. Наиболее грамотное применение способов обработки почвы требует глубокого изучения агроландшафтных зон, разработки машин, орудий, комбинированных агрегатов для

поверхностной обработки почвы и совмещения отдельных операций технологий возделывания культур.

Для условий Среднего Поволжья одной из основных задач обработки почвы является эффективное влагонакопление в пахотном горизонте. При использовании безотвальной обработки почвы данная задача стоит особенно актуально. Это объясняется тем, что после основной безотвальной обработки почвы на поверхности остаются крупные монолитные глыбы, не обеспечивающие равномерное накопление влаги в их объеме. Для повышения эффективности крошащей способности почвы разработано комбинированное орудие. Аналогом данного орудия являются культиваторы-глубокорыхлители КПГ-2-150 и КПГ-250 для безотвальной обработки почвы. Предлагаемое орудие (рис. 1) для безотвальной обработки почвы включает плоскорежущую лапу 2, закрепленную на раме 1 посредством стойки 3, а впереди и выше плоскорежущей лапы по всей ее ширине установлены вертикальные ножи 4 в виде продольно-вертикальных пластин, размещенных с интервалом друг относительно друга, закрепленных на раме 1. В нижней части вертикальных ножей 4 закреплены подрезающие лапы 5, представляющие горизонтальные стрелчатые пластины.

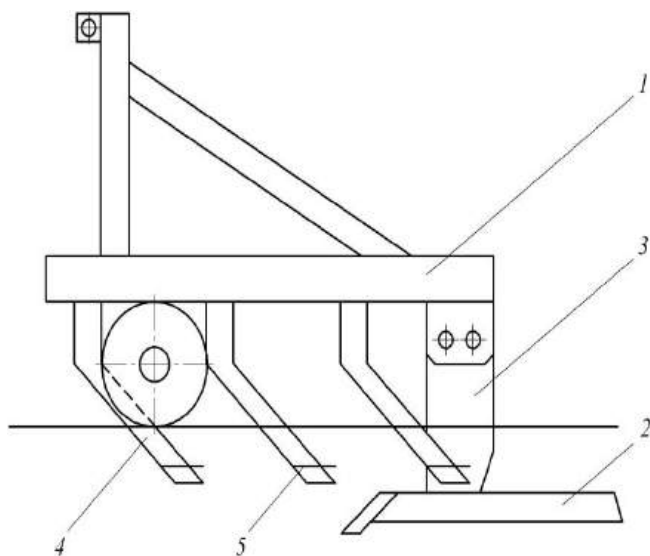


Рис. 1. Орудие для безотвальной обработки почвы:

- 1 – рама; 2 – плоскорежущая лапа; 3 – стойка;
- 4 – вертикальные ножи; 5 – подрезающие лапы

Причем лапы 5 на пластинах 4 закреплены на высоте равной половине глубины основной обработки почвы. Вертикальные ножи 4 расположены по контуру плоскорежущей лапы 2.

Орудие для безотвальной обработки почвы работает следующим образом. При движении орудия ножи 4 разрезают верхний слой почвы вместе с корневой системой в виде лент на половину глубины хода основной плоскорежущей лапы 2. При вертикальном разрезании верхнего слоя почвенного пласта ножи 4 разрезают корневые сплетения растений между соседними образовавшимися лентами почвы. Кроме того основания ножей 4 надрезают сверху крупные глыбы основного обрабатываемого пласта почвы. Подрезающие лапы 5 подрезают и частично скалывают в горизонтальной плоскости нарезанные ножами ленты пласта, образуя в подстерневом

слое линии скалывания. Тем самым ленты почвы, нарезанные в вертикальной плоскости, скалываются в их основании и в горизонтальной плоскости и отделяются от обрабатываемого пласта почвы. Образуются узкие ленты обрабатываемого пласта высотой равной половине глубины хода плоскорежущей лапы 2 и шириной, равной расстоянию между ножами 4. Выступающие под подрезающими лапами 5 окончания ножей 4 надрезают почву под пластом, подрезанными этими лапами. Вслед за ножами 4 и подрезающими лапами 5 плоскорежущая лапа 2 подрезает весь обрабатываемый пласт почвы снизу и приподнимает его. Так как верхняя часть пласта нарезана на ленты, связь между соседними лентами нарушена, а крупные глыбы основного обрабатываемого слоя почвы нарезаны нижними окончаниями ножей 4, то при поднятии пласта плоскорежущей лапой 2 происходит окончательное разламывание его на полосы в поперечно-вертикальной плоскости. Пласт почвы, в виде отдельных лент, не связанных между собой, перемещается через плоскорежущую лапу 2. При этом ленты почвенного пласта испытывают деформацию сжатия и последующего растяжения при перемещении через лапу легко разламываются, в сравнении с широким пластом.

Предлагаемое орудие для безотвальной обработки почвы повышает качество ее крошения, обеспечивает равномерное накопление влаги во всем почвенном объеме обрабатываемого пласта почвы с сохранением стернового фона, способствующего накоплению осенне-зимней влаги.



## ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ДЕРНОСТЕРНЕВОГО ВАЛКА ДИСКОВЫМИ БАТАРЕЯМИ КОМБИНИРОВАННОГО ОРУДИЯ

*В статье представлен теоретический анализ процесса формирования дерностернового валка дисковыми батареями комбинированного орудия.*

*In clause the theoretical analysis of mixed platen formation process by combined instrument disk batteries is presented.*

Для противозерозионной обработки почвы разработано комбинированное орудие [1], которое включает в себя плуг с корпусом, предназначенным для работы в условиях закрытой борозды и две дисковые батареи, размещённые под углом к продольной оси орудия.

Во время работы орудие обеспечивает комплексно, безотвальное рыхление на глубину 30-45 см с одновременной ленточной заделкой в почву пожнивных и растительных остатков, в виде дерностерновой массы [2]. При этом диски первой батареи подрезая стерню формируют дерностерновой валок на поверхности необработанного поля, и передают его второй дисковой батарее, которая формирует аналогичный валок, и суммируя их, укладывает дерностерновую массу в открытую плужным корпусом борозду.

Чтобы технологический процесс комбинированного орудия проходил непрерывно, и согласно агротехническим требованиям необходимо соблюдение следующего условия:

$$Q_{\text{бат}} = Q_{\text{корп}}, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{бат}}$  – производительность двух дисковых батарей, м<sup>3</sup>/с;

$Q_{\text{корп}}$  – производительность плужного корпуса, м<sup>3</sup>/с.

В свою очередь производительность двух дисковых батарей представим в виде:

$$Q_{\text{бат}} = 2kn_1S_{\phi}V_{\text{оруд}}, \quad (2)$$

где 2 – количество дисковых батарей, обеспечивающих выполнение технологического процесса срезания, транспортирования и перемешивания с укладкой в борозду дерностерновой массы, на комбинированном орудии;  $k$  – коэффициент вспушенности дерностерновой массы;  $n_1$  – количество дисков, устанавливаемых на одну дисковую батарею;  $S_{\phi}$  – площадь поперечного сечения почвы, срезаемая одним диском, м<sup>2</sup>;  $V_{\text{оруд}}$  – скорость движения орудия, м/с.

Производительность корпуса определяется следующим выражением:

$$Q_{\text{корп}} = k_y S_k V_{\text{оруд}}, \quad (3)$$

где  $k_y$  коэффициент уплотнения дерностерновой массы валка;

$S_k$  – площадь поперечного сечения борозды.

Площадь поперечного сечения борозды (рис. 1) можно представить:

$$S_k = k_n (S_{\triangle EBD} + S_{\square EDCA}), \quad (4)$$

где  $k_n$  – коэффициент, учитывающий осыпание почвы и геометрическую неточность открытой борозды;

$S_{\triangle EBD}$  – площадь треугольника EBD;

$S_{\square EDCA}$  – площадь прямоугольника EDCA.

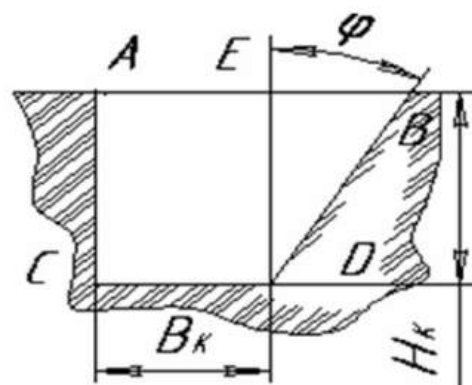


Рис. 1. Профиль борозды:  
 $H_k$  – глубина хода плужного корпуса;  
 $B_k$  – ширина захвата плужного корпуса;  
 $\phi$  – угол скалывания почвы

$$S_{\Delta EBD} = \frac{1}{2} H_k (H_k \operatorname{tg} \varphi) \quad (5)$$

$$S_{EDCA} = H_k B_k \quad (6)$$

Подставив (5) и (6) в (4) и преобразовав, получим:

$$S_k = \frac{1}{2} \cdot k_n \cdot H_k \cdot (H_k \cdot \operatorname{tg} \varphi + 2 \cdot B_k) \quad (7)$$

Приравняв правые части уравнений (2) и (3) и после преобразования, выразим  $n_1$  – количество дисков для одной дисковой батареи, получим:

$$n_1 = \frac{1}{4} \cdot \frac{k_y}{k} \cdot \frac{k_n \cdot H_k \cdot (H_k \cdot \operatorname{tg} \varphi + 2 \cdot B_k)}{S_d} \quad (8)$$

Площадь поперечного сечения пласта, срезаемой одним диском, в зависимости от расположения точки А смыкания дисков (рис. 2), может быть определена по следующим выражениям:

- в том случае, если расстояние между осями дисков больше фронтальной проекции хорды диска, обусловленной поверхностью поля

$$S_d = m_1 \cdot \left[ \frac{D^2 \cdot \sin \alpha}{4} \cdot \arcsin \alpha \frac{2 \cdot \sqrt{h \cdot (D-h)}}{D} - \left( \frac{D}{2} - h \right) \cdot \sin \sqrt{h \cdot (D-h)} \right]; \quad (9)$$

- в другом случае, когда расстояние меньше хорды

$$S_d = 2 \cdot m_1 \cdot \left[ \frac{1}{\sin \alpha} \cdot \left[ \frac{H_1}{8} \sqrt{D^2 \cdot \sin^2 \alpha - H_1^2} + \frac{D^2 \cdot \sin^2 \alpha}{8} \cdot \arcsin \frac{H_1}{D \cdot \sin \alpha} \right] + \frac{H_1}{2} \cdot \left( h - \frac{D}{2} \right) \right]. \quad (10)$$

Если производительность плужного корпуса, для работы в условиях закрытой борозды, зависит от стабильности хода комбинированного орудия, по ширине и глубине, то на производительность дисковых батарей влияют геометрические размеры и параметры расстановки дисков.

При возрастании диаметра диска (рис. 3) происходит увеличение транспортируемой массы дерностерневых остатков по параболической зависимости. В то же время изменение угла атаки диска в малых пределах ведет к существенным изменениям производительности дисковых батарей по гармонической зависимости с резким увеличением амплитуды, в случае когда точка смыкания дисков А располагается ниже уровня поверхности поля.

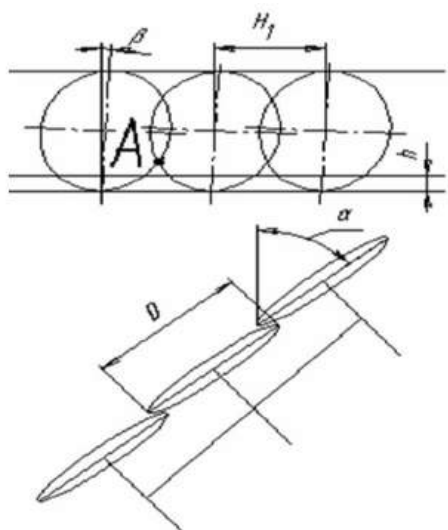


Рис. 2. Схема расстановки дисков:  
D – диаметр диска;  $H_1$  – расстояния дисков;  
 $\alpha$  – угла атаки; h – глубина хода диска;  
 $\beta$  – угла наклона диска, к вертикали между осями

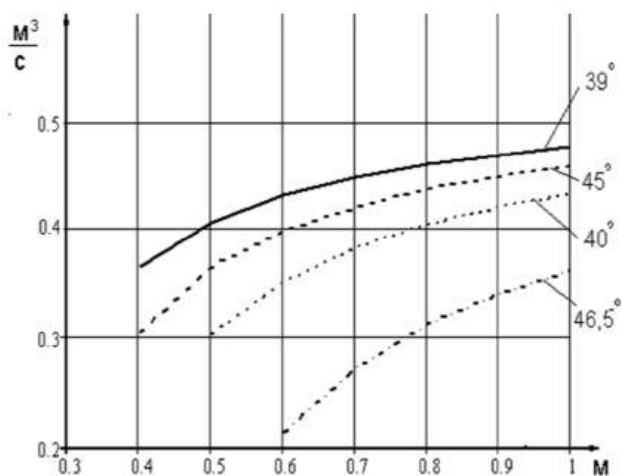


Рис. 3. Зависимость производительности от угла атаки диска

Аналитическая зависимость производительности батарей описываемая уравнением (2) при подстановке площади срезаемой одним диском при разных условиях расстановки (выражения (9) и (10)) позволяет выразить условие работоспособности комбинированного орудия, и выбрать оптимальные параметры установки дисковых рабочих органов.

#### Библиографический список

1. Патент РФ. Орудие для противоэрозионной обработки почвы / Канаев А.И, Иванайский С.А., Кукуев С.А. – № 2125778 ; опубл. в Б. И. – 1999. – №4. – Ч. 2.
2. Канаев, А.И. Разработка комбинированного орудия для глубокого рыхления почвы с ленточной заделкой пожнивных и растительных остатков / Канаев А.И., Афонин А.Е., Кукуев С.А. // Современные технологии, средства механизации и техническое обслуживание в АПК : сб. научн. тр. – Самара, 2003.

УДК 631.611

Савельев Ю.А к.т.н., доцент; Алмасова Г.З. ст. преподаватель

### МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ КУРСОВОГО НАПРАВЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ АГРЕГАТОВ

*Излагается методика определения угла отклонения от курсового направления движения почвообрабатывающих, посевных агрегатов и приводится принципиальная схема устройства для его измерения.*

*This article expounds the steering for direction soil cultivating and seeding units movement deviate angle technology and the principle measuring construction scheme states.*

Для качественного выполнения различных технологических процессов при возделывании культурных растений необходимо обеспечить прямолинейное движение сельскохозяйственных агрегатов представляющих собой сложные динамические системы. Поэтому оценку устойчивости динамической (изучаемой) системы необходимо осуществлять посредством определения границ диапазона варьируемых характеристических показателей при её работе и моделировании.

Вопрос исследования и изучения устойчивости движения сельскохозяйственных агрегатов является предметом многих научных разработок. Этой задачей занимались такие крупнейшие представители физико-математических и инженерных наук Томсон, Тэт, Раус, Пуанкаре, Жуковский, Ляпунов, Лурье [1,2].

Определений устойчивости сельскохозяйственных агрегатов сформулировано несколько и можно под устойчивостью движения мобильного сельскохозяйственного агрегата понимать совокупность свойств, обеспечивающих его минимальное восприятие к внешним, ограниченным по величине возмущениям, стремящихся вывести его из заданного направления, а отклонения от курса не выходят за пределы определенных границ, и стремится возвращаться к исходному [2].

Известные математические методы оценки устойчивости динамической системы основаны на показателях и критериях устойчивости определенного вида. В качестве основных показателей и критериев устойчивости наиболее часто применяют показатель критической скорости движения, параметры динамики переходных процессов: время окончания переходного процесса, максимальные значения ошибок регулирования переменных состояния, величины угла отклонения от направления курсового движения и пр.

В качестве критерия устойчивости прицепных почвообрабатывающих и посевных агрегатов целесообразно принять значения углов отклонения прицепного устройства от направления движения, возникающих при действии внешних возмущений (например, тягового сопротивления рабочих органов).

Углы отклонения прицепного устройства можно регистрировать следующим образом: при прямолинейном движении трактора относительно заданного направления (курса) в горизонтальной

плоскости, колебания прицепного орудия машины регистрируются приспособлением, установленным на тракторе, который принимается за базу. При этом прямолинейное заданное курсовое движение трактора обеспечивается по заранее установленным ориентирам.

Для измерения угла отклонения прицепного устройства сельскохозяйственного орудия относительно направления курсового движения агрегата предлагается устройство состоящее из указателя 4, жестко закрепленного к прицепному устройству трактора 1, шкалы 5, жестко закрепленной на прицепном устройстве 3 орудия 2 (рис. 1а). Для фиксирования угла  $\varphi$ , (рис. 1б) в процессе работы агрегата используется видеокамера, установленная над измеряющим устройством. Запись измерений осуществляется с отметчиком времени. Пройденный путь определяется с помощью путеизмерительного колеса 6.

Данные измерений статистически обрабатываются, и определяется динамика изменения угла  $\varphi$ , величина перекрытий рабочих органов почвообрабатывающих машин и интервалы междурядий у посевных машин.

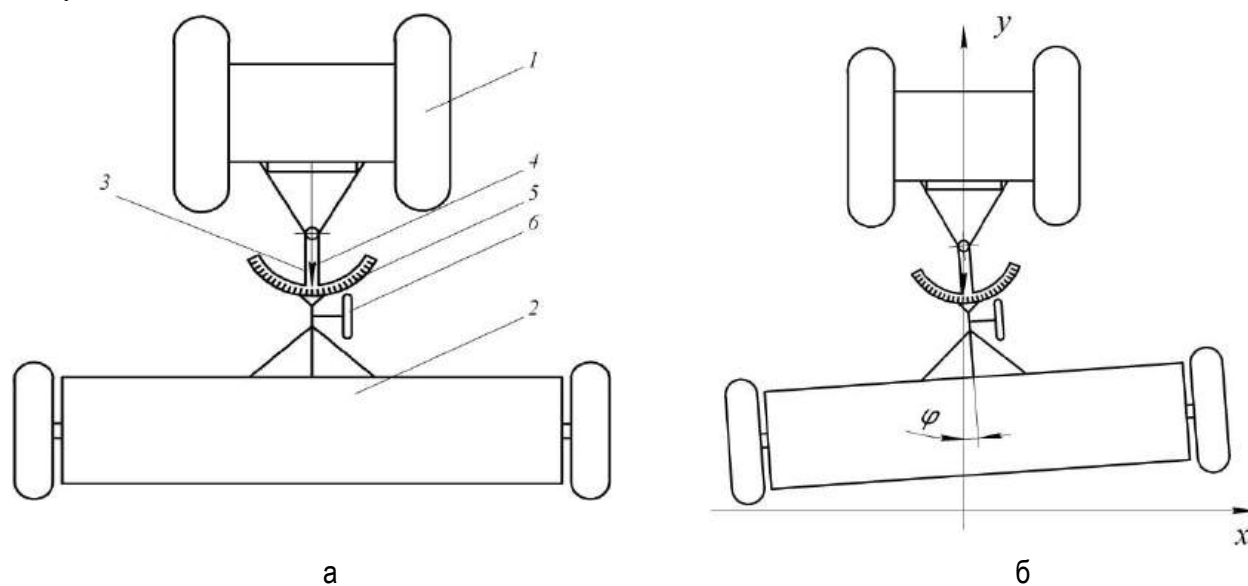


Рис. 1. Сельскохозяйственный прицепной агрегат:  
а – стабильная работа сельскохозяйственного агрегата;  
б – отклонение направления движения сельскохозяйственного агрегата от курсового движения

Результаты измерений позволяют провести оценку качества выполнения процесса работы, эффективность энергозатрат и их влияния на урожайность возделываемой культуры.

Предлагаемая методика позволит определить реальные величины изменения угла отклонения направления движения сельскохозяйственных машин от заданного. Эти данные позволят спроектировать реальные устройства для стабилизации курсового движения сельскохозяйственных агрегатов в целом.

#### Библиографический список

1. Наземные тягово-транспортные системы / под ред. И.П. Ксенович. – М. : Машиностроение, 2003. – 743 с.
2. Алеев, Б.А. Устойчивость и стабильность работы глубокорыхлителя-щелереза на склонах, подверженных водной эрозии : автореф. дис. ... канд.техн. наук. – М. : ВИСХОМ, 2006. – 25 с.

## **ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ**

УДК 631.37

Гниломедов В. Г. к.т.н., профессор; Афонин А.Е. инженер;  
Сазонов Д.С. аспирант

### **ВЛИЯНИЕ ЛАНДШАФТА ПОЛЕЙ НА ВЫБОР СПОСОБА ДВИЖЕНИЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА**

*В статье приведен анализ применения различных способов движения МТА по полю с учетом рельефа полей в соответствии требованиям современной контурно-ландшафтной системы земледелия.*

*In this article the analysis of the MTA motion different ways using on field according to the soil surface in correspondence husbandry of modern contour-landscape system to requirements is brought.*

Неудовлетворительное состояние сельскохозяйственных угодий, постоянно снижающееся плодородие почв, которое уже в ближайшем будущем может быть необратимо утрачено на обширных площадях, является одной из главных причин неустойчивого развития сельскохозяйственного производства России. Эрозия почв ведет к истощению пашни, загрязнению водоемов и рек, резкому ухудшению экологической обстановки на больших территориях. Поэтому сохранение и расширенное воспроизводство плодородия почв страны на современном этапе признано важной государственной задачей. Правительством Российской Федерации разработана и утверждена Государственная комплексная программа повышения плодородия почв России (Постановления Правительства РФ от 17.11.1992 г. и 30.12.2000 г. №879 и №1034), которая предусматривает кроме прочего комплекс мер по защите почв от эрозии и, в частности, развитие контурно-мелиоративного и ландшафтного земледелия с учетом кривизны склонов: нарезкой границ полей и рабочих участков по горизонталям местности или под углом к ним. Такое земледелие должно быть внедрено в первую очередь на землях с крутизной склонов более 2 градусов.

В основе контурно-ландшафтного земледелия (КЛЗ) лежит контурно-полосная организация каждого поля севооборота, то есть обработка почвы должна осуществляться вдоль горизонталей или в направлении близком к горизонталям местности, взамен прямоугольно-клеточной [1]. При этом допускается некоторое отклонение от горизонталей в случае их сильной извилистости [2]. Контурную обработку почв широко применяют во многих странах мира, и в частности в США. На склонах небольшой крутизны она обеспечивает лучшие условия влагонакопления, предотвращает смыв плодородного слоя почв. Опубликовано множество данных, подтверждающих эффективность этого приема защиты почв от эрозии.

Направления обработки почвы машинно-тракторными агрегатами, а именно, направления их рабочих проходов, во многом определяются способами движения МТА по полю. Поэтому на полях, имеющих склоны крутизной более 2 градусов, выбор способа движения и направлений рабочих проходов МТА по полю должен производиться с обязательным учетом рельефа поля.

На односкатных склонах, горизонтали рельефа которых параллельны одной из сторон рабочего участка, следует применять гоновые способы движения МТА, например, челночный или с чередованием загонов всвал и вразвал с направлением рабочих проходов МТА поперек склона максимально приближенно к направлению горизонталей рельефа поля, т.е. параллельно стороне обрабатываемого участка (рис. 1).

В случае, когда горизонтали рельефа расположены не параллельно сторонам обрабатываемого участка, а под некоторым углом, при обработке такого вида участка возможно применение диагональных способов движения (диагонально-челночный, диагональный комбинированный). При таком способе движение агрегата должно осуществляться под углом к сторонам обрабатываемого участка, причем направление обработки также должно быть максимально приближено направлению горизонталей рельефа (рис. 2).

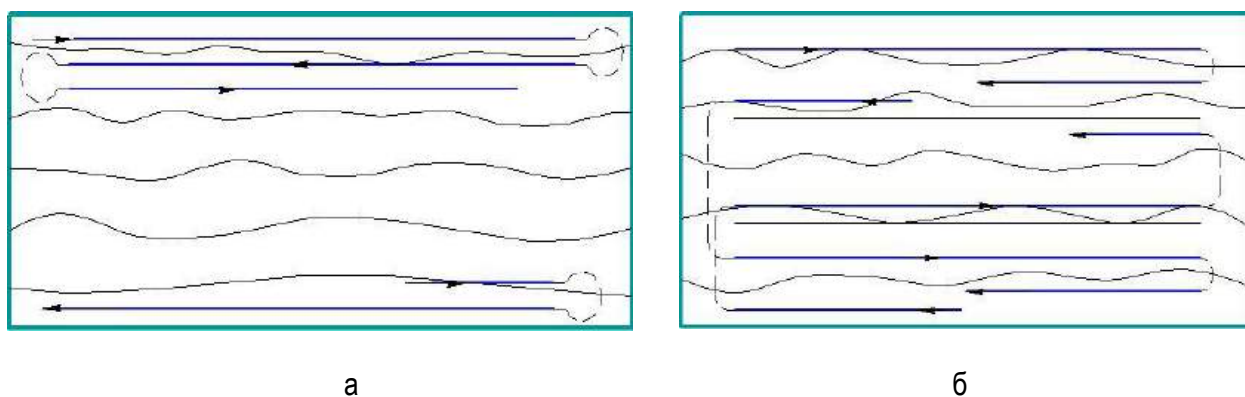


Рис. 1. Способы движения МТА при обработке односкатного склона (горизонтали рельефа параллельны одной из сторон участка):  
а) челночный; б) с чередованием загонов всвал вразвал

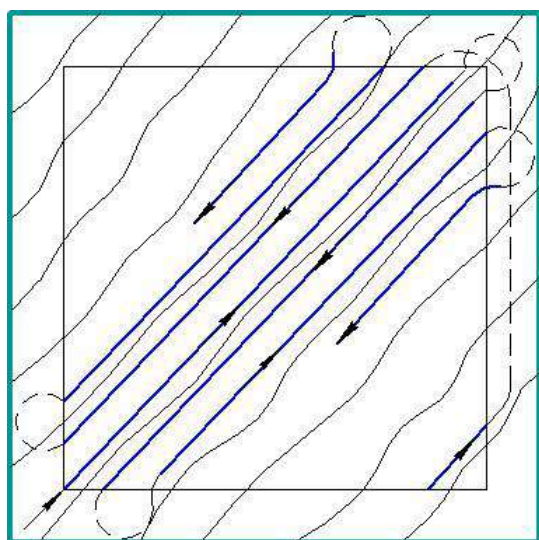


Рис. 2. Диагонально-челночный способ движения МТА при обработке склона с горизонталями рельефа, расположенными под углом к сторонам поля

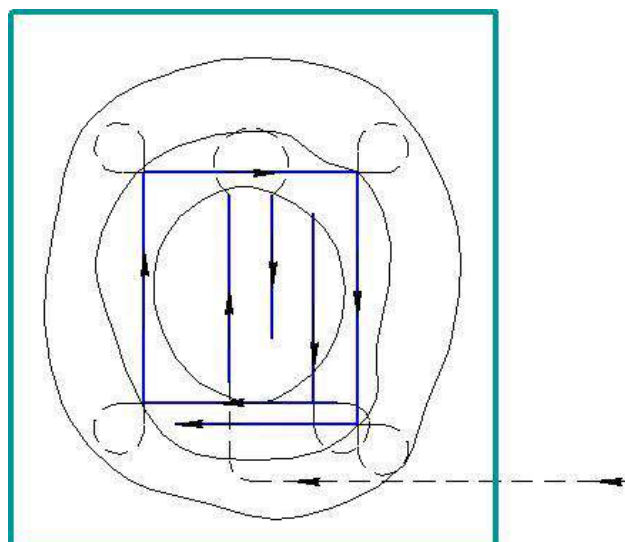


Рис. 3. Беззагонно-круговой способ движения при обработке участка с кольцевым расположением горизонталей

Если рельеф поля характеризуется кольцевым расположением горизонталей (холм, бугор, котловина или впадина), то целесообразно применение круговых способов движения МТА. В этом случае рабочие проходы агрегата следует осуществлять также максимально приближенно к направлению горизонталей рельефа. Один из таких вариантов обработки такого поля представлен на рисунке 3.

На полях с более сложными вариантами рельефа для выполнения требований контурно-ландшафтной системы земледелия возможно сочетание нескольких способов движения МТА с различными направлениями рабочих проходов при соблюдении условия максимально возможного их приближения к направлениям горизонталей рельефа поля.

Таким образом, при контурной организации территории необходимо учитывать рельеф поля, а именно расположение горизонталей рельефа. Рабочие проходы МТА должны осуществляться таким способом движения МТА, при котором их направление максимально приближенно к горизонталям рельефа.

#### Библиографический список

1. Бискаев, Н. Контурно-ландшафтное земледелие - заслон засухе и эрозии // Агро-информ. – 2005. – №83. – С. 27.

2. Каленов, Г.С. Роль рельефа при изучении природных и антропогенных ландшафтов : монография. – Самара, 2002. – 236 с.

УДК 631.37

Сазонов Д.С. аспирант

### **ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ДВИЖЕНИЯ**

*В статье приведены результаты графического анализа влияния внешних факторов, а именно, геометрических размеров поля на коэффициент использования рабочих ходов при различных способах движения полевых агрегатов.*

*In article results of the external factor influence graphic analysis are brought, as follows, geometric sizes of the field worker moves ratio on utilization under different ways of the field unit motion.*

Агрономически и экономически эффективное, а также экологически безопасное использование технических средств возделывания сельскохозяйственных культур во многом определяется оптимальной организацией движения по полю машинно-тракторного агрегата (МТА) во время проведения полевых операций обработки почвы и посева, т.е. способами его движения по полю.

При выборе рационального способа движения МТА по полю необходимо учитывать весь комплекс значимых факторов, оказывающих существенное влияние на конечный результат производства полевых культур.

К ним следует отнести:

- агротехнические требования с обязательным учетом рекомендаций контурно-ландшафтного земледелия и особенности последующих технологических операций;
- конструкционные параметры агрегатирования тракторов, сельскохозяйственных машин и орудий;
- требования обеспечения безопасных и комфортных условий труда операторов МТА;
- факторы, определяющие эксплуатационные показатели работы МТА.

Одним из основных эксплуатационных показателей работы при различных способах движения МТА по полю является коэффициент использования рабочих ходов  $\varphi$ , характеризующий соотношение протяженности рабочих проходов и холостых ходов МТА и являющийся по физическому смыслу своеобразным кинематическим КПД агрегата.

Коэффициент рабочих ходов  $\varphi$  принято определять [3] выражением:

$$\varphi = \frac{S_p}{S_p + S_x},$$

где  $S_p$  – суммарная длина рабочих проходов МТА при обработке поля данной площади;

$S_x$  – суммарная длина холостых ходов МТА при обработке поля данной площади;

Коэффициент использования рабочих ходов  $\varphi$  определяется рядом значимых факторов, т.е. является функцией нескольких случайных аргументов: радиуса  $R$  поворота агрегата, его длины выезда  $e$  и рабочей ширины захвата  $B$ , длины  $L$  и ширины  $C$  поля и т.д.

При прямоугольно-клеточной системе землеустройства сельскохозяйственных угодий, преобладающей в настоящее время на большинстве посевных площадей России [1], наиболее распространенной конфигурацией поля является прямоугольная форма, которая геометрически определена длиной  $L$  и шириной  $C$  поля.

Известные способы движения МТА по полю условно можно подразделить на круговые и гоновые, последние из которых в свою очередь включают загонные и беззагонные способы. Из всего многообразия известных способов движения МТА по полю признано целесообразным выделить для последующего графического анализа следующие наиболее характерные и распространенные способы:

- гоновый беззагонный челночный;
- гоновый загонный с чередованием загонов всвал и вразвал;
- круговой беззагонный от периферии к центру поля.

Для выше упомянутых способов движения МТА по полю разработаны в сопоставимой форме аналитические выражения [2, 4] для определения коэффициента использования рабочих ходов  $\varphi$  в зависимости от выявленных значимых факторов, из которых к внешним факторам можно отнести конфигурацию и геометрические размеры поля (длина  $L$  и ширина  $C$  поля).

С целью проведения графического анализа зависимости от указанных внешних факторов коэффициент использования рабочих ходов  $\varphi$  при рассматриваемых способах движения МТА по полю был задан в виде функций двух переменных:

$$\varphi = f(L, C).$$

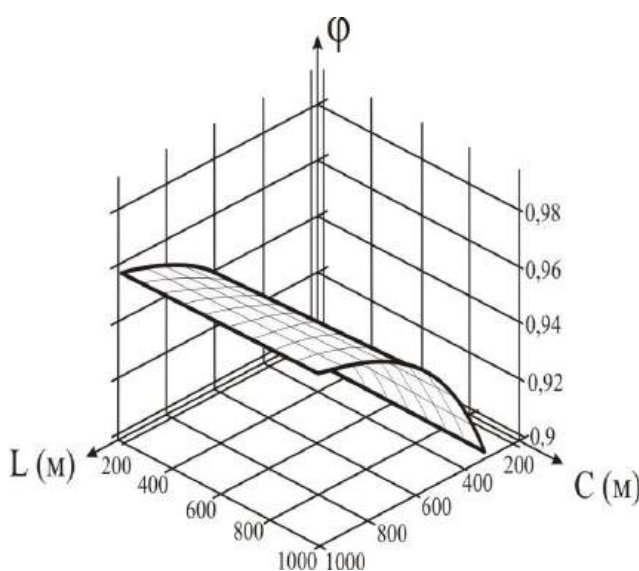


Рис. 1. График зависимости коэффициента рабочих ходов  $\varphi$  от размеров поля при гоновом беззагонном челночном способе движения МТА

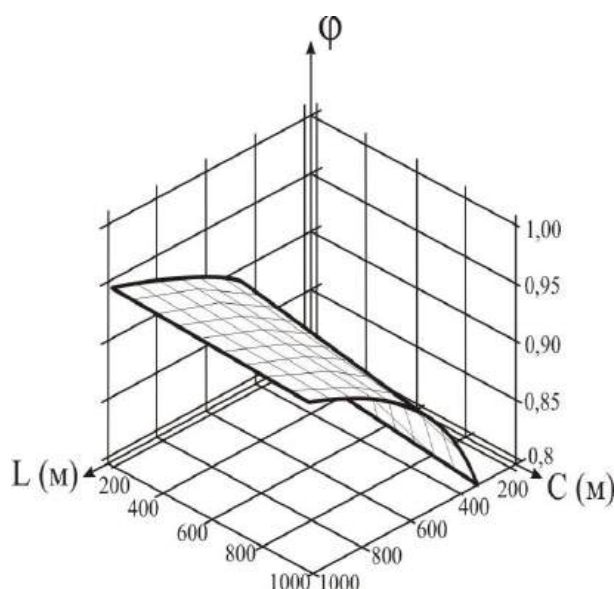


Рис. 2. График зависимости коэффициента рабочих ходов  $\varphi$  от размеров поля при гоновом загонном, с чередованием загонов всвал и вразвал, способе движения МТА



При этом остальные значимые факторы, а именно радиус  $R$  поворота агрегата, его длина выезда  $e$  и рабочая ширина захвата  $B$  были приняты равнозначными для исследуемых способов движения МТА и учтены в соответствии конкретным параметрам пахотного агрегата, состоящего из трактора Т-150К и плуга-рыхлителя универсального навесного ПРУН-5-45.

Графический анализ указанных функций проведен с помощью математического аппарата пакета «Mathcad». Закономерности изменения коэффициента использования рабочих ходов  $\varphi$  в зависимости от длины  $L$  и ширины  $C$  поля при различных способах движения МТА представлены на рисунках 1, 2 и 3.

На приведенных графических выражениях коэффициента использования рабочих ходов  $\varphi$ , как функции двух переменных (длина  $L$  и ширина  $C$  поля), для гонового беззагонного челночного и гонового загонного с чередованием загонов всвал и вразвал способов движения МТА принято направление рабочих проходов агрегата, параллельное стороне периметра поля длиной  $L$ .

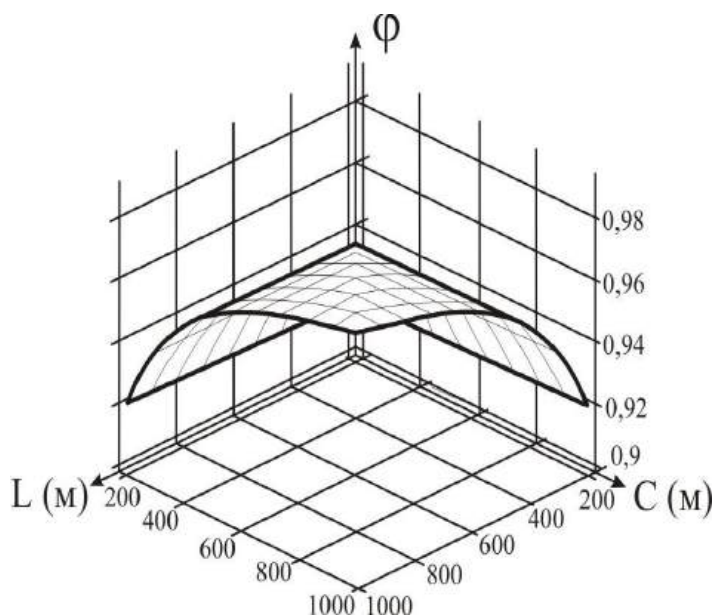


Рис. 3. График зависимости коэффициента рабочих ходов  $\varphi$  от размеров поля при круговом способе движения МТА

Результаты графического анализа зависимостей коэффициента использования рабочих ходов  $\varphi$  от геометрических размеров поля позволяют сделать следующие выводы.

1) При гоновых способах движения МТА (рис. 1, 2) существенное влияние на величину коэффициента использования рабочих ходов  $\varphi$  оказывает один из рассматриваемых внешних факторов – длина поля  $L$ , т.е. длина гона или рабочего прохода агрегата: с увеличением значений переменной  $L$  возрастают значения коэффициента  $\varphi$ ; влияние параметра  $C$  в реальном диапазоне его изменения на величину коэффициента  $\varphi$  при гоновых способах движения МТА не существенно, а некоторое изменение величины коэффициента  $\varphi$  при изменении параметра  $C$  обусловлено достаточно условным «участием» параметра  $L$  в определении оптимальной ширины загона [3], принятом в расчетах; челночный способ движения МТА имеет более высокие, чем загонный с чередованием загонов всвал и вразвал, значения при соответствующих величинах параметров  $L$  и  $C$ .

2) При круговом беззагонном способе движения МТА по полю существенное влияние на величину коэффициента использования рабочих ходов  $\varphi$  в отличие от гоновых способов движения МТА оказывают оба рассматриваемых внешних фактора – длина  $L$  и ширина  $C$  поля: с увеличением значений каждого из переменных  $L$  и  $C$  возрастает величина коэффициента  $\varphi$ ; у кругового способа движения МТА максимум значений коэффициента  $\varphi$  соответствует соотношению параметров  $L$  и  $C$ ,

равному единице, т.е. полям с конфигурацией в форме квадрата; с ростом значений параметров  $L$  и  $C$ , а, следовательно, и общей площади поля круговой способ движения МТА имеет более высокие, чем гоновые способы значения  $\varphi$  при соответствующих величинах параметров  $L$  и  $C$ , т.е. превосходит их по эксплуатационным показателям.

#### Библиографический список

1. Бискаев, Н. Контурно-ландшафтное земледелие – заслон засухе и эрозии // Агро-информ. – 2005. – №83. – С. 27.
2. Гниломедов, В.Г. Теоретическое обоснование кругового способа движения почвообрабатывающего агрегата – “Конвертный” / Гниломедов В.Г., Афонин А.Е., Сазонов Д.С. // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – Самара, 2006. – Вып. 3. – С. 113-115.
3. Зангиев, А.А. Производственная эксплуатации машинно-тракторного парка / Зангиев А.А., Лышко А.Н., Скороходов А.Н. – М.: Колос, 1996. – 320 с.
4. Сазонов, Д.С. Сравнительная оценка кинематики агрегатов при глубоких обработках почвы // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – Самара, 2006. – Вып. 3. – С. 115-118.

УДК 631.51.021

Гниломедов В.Г. к.т.н., профессор; Афонин А.Е. инженер;  
Ерзамаев М.П. ст. преподаватель

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДВУХЪЯРУСНОЙ ОТВАЛЬНОЙ ВСПАШКИ

*Получены аналитические зависимости для определения глубины заделки верхнего слоя почвы.*

*Sudbed cultivation depth determination analytical dependencies are received.*

Дифференцированный подход к вопросам обработки почвы, наиболее прогрессивный и широко используемый в современных системах земледелия, предусматривает выбор и применение почвообрабатывающих орудий в строгой зависимости от комплекса конкретных агрономических задач, которые необходимо решать в сложившейся текущей ситуации с учетом погодных и почвенно-климатических условий, принятых технологий возделывания полевых культур в системе севооборотов на конкретном поле и ряда других факторов. И во всем многообразии этих агрономических задач существуют задачи, наиболее эффективное решение, которых возможно только одним технологическим приемом обработки почвы – двухъярусной отвальной вспашкой. К таким задачам следует отнести, например, внесение твердых органических удобрений (навоза), дающих высокую отдачу урожаем только при достаточно глубокой их заделке в почву, внесение минеральных удобрений с целью создания благоприятного пищевого режима в нижних слоях почвы для развития сельскохозяйственных культур с относительно глубоко расположенной корневой системой (большинство пропашных культур), а также фитосанитарные и некоторые другие, в том числе узкоспециальные задачи.

На рисунке 1 приведена схема технологического процесса двухъярусной отвальной вспашки, который осуществляется совместной согласованной работой плужных корпусов верхнего и нижнего яруса, имеющих одинаковую рабочую ширину захвата, равную  $B$ . Главным технологическим отличием двухъярусной отвальной вспашки является разделение обрабатываемого горизонта почвы на два слоя – верхний и нижний, с последующим изменением их взаимного расположения.

Верхний слой почвы толщиной  $h_v$  отделяется от монолита плужным корпусом верхнего яруса, крошится, оборачивается и укладывается в борозду, открытую предыдущим плужным корпусом нижнего яруса и имеющую глубину  $h_n$ . Последующий плужный корпус нижнего яруса отделяет от монолита почвенный пласт толщиной  $h_n$ , крошит, оборачивает и укладывает его поверх расположенного в борозде почвенного пласта плужного корпуса верхнего яруса.

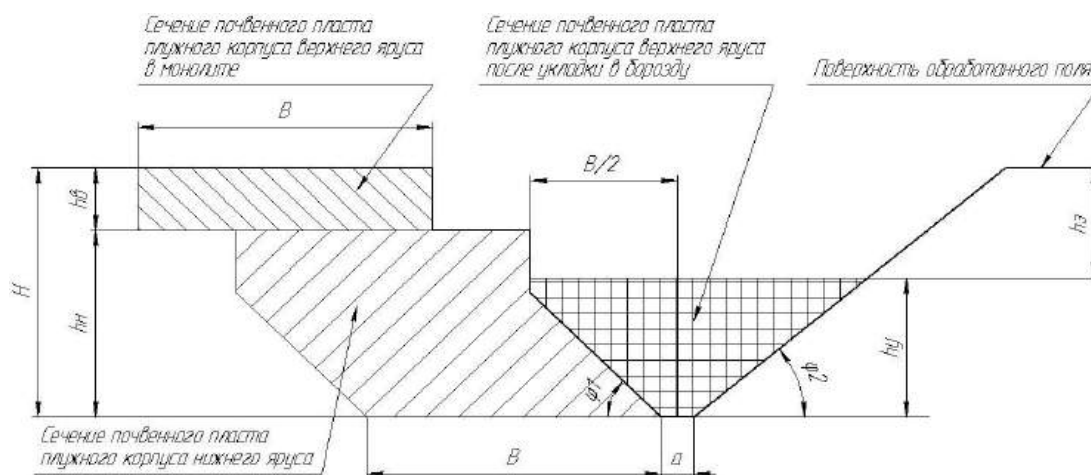


Рис. 1. Схема технологического процесса двухъярусной отвальной вспашки

В рассматриваемой схеме технологического процесса в общем случае принята форма поперечного сечения, имеющая горизонтальный участок шириной  $a$  и наклонные боковые участки, образующие с горизонталью углы  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ . Форма поперечного сечения борозды в основном определяется конструктивными параметрами плужного корпуса нижнего яруса, физико-механическими свойствами почвы и скоростью движения пахотного агрегата.

Главным агротехническим показателем двухъярусной отвальной вспашки является глубина  $h_3$  заделки верхнего слоя почвы, определяемая как расстояние по вертикали от поверхности обработанного поля до верхней точки сечения почвенного пласта плужного корпуса верхнего яруса. В рассматриваемой схеме технологического процесса двухъярусной отвальной вспашки не учитывается вспушенность пластов почвы в результате ее рыхления рабочими органами двухъярусного плуга.

Глубина заделки  $h_3$  может быть определена следующим выражением:

$$h_3 = h_6 + h_n - h_y,$$

где  $h_y$  – уровень заполнения борозды почвой пласта плужного корпуса верхнего яруса.

Величина  $h_y$  определяется из условия, что площадь  $S_6$  поперечного сечения почвенного пласта плужного корпуса верхнего яруса при отделении от монолита равна площади  $S_y$  заполнения борозды, т.е. площади того же пласта почвы после укладки его в борозду:

$$S_6 = Bh_6$$

$$\text{При значениях } S_6 \leq \frac{0,125(B-a)tg\varphi_1}{tg\varphi_2} \left[ B + 3a + \frac{(B-a)tg\varphi_1}{tg\varphi_2} \right]$$

$$h_y = \sqrt{\frac{Bh_6 \left( \frac{B-a}{tg\varphi_1} \right)^2}{\frac{0,5(B-a)tg\varphi_1}{tg\varphi_2} \left[ B + 3a + \frac{(B-a)tg\varphi_1}{tg\varphi_2} \right]}}$$

$$\text{При значениях } S_6 > \frac{0,125(B-a)tg\varphi_1}{tg\varphi_2} \left[ B + 3a + \frac{(B-a)tg\varphi_1}{tg\varphi_2} \right];$$

$$h_y = 0,5 \left[ (B-a)tg\varphi_1 + \left( a-B + \frac{(B-a)tg\varphi_1}{tg\varphi_2} \pm \sqrt{\left( B+a + \frac{(B-a)tg\varphi_1}{tg\varphi_2} \right)^2 + \frac{8Bh_g - \frac{(B-a)tg\varphi_1}{tg\varphi_2} \left[ B+3a + \frac{(B-a)tg\varphi_1}{tg\varphi_2} \right]}{tg\varphi_2}} \right) tg\varphi_2 \right]$$

Таким образом, полученные аналитические зависимости позволяют выразить главный агротехнический показатель двухъярусной отвальной вспашки – глубину  $h_3$  заделки верхнего слоя почвы, как функцию от конструктивных параметров  $a$ ,  $B$ ,  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  рабочих органов двухъярусного плуга и параметров их взаимной расстановки по глубине  $h_g$  и  $h_n$ :

$$h_3 = f(a, B, \varphi_1, \varphi_2, h_g, h_n).$$

Кроме того, возможно решение обратной задачи: при заданных из агрономических соображений значений глубины  $h_g$  заделываемого верхнего слоя почвы и необходимой глубины  $h_3$  его заделки может быть определен параметр расстановки (регулировки плуга) плужного корпуса нижнего яруса:

$$h_n = f(a, B, \varphi_1, \varphi_2, h_g, h_3).$$

Рассмотренный теоретический анализ технологического процесса двухъярусной отвальной вспашки по полученным аналитическим зависимостям позволяет определить как глубину заделки верхнего слоя почвы, так и параметры расстановки плужных корпусов.

УДК 631.372

Гниломедов В.Г. к.т.н., профессор; Ирназаров И.Н. аспирант

## АНАЛИЗ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ТЯГОВО-СЦЕПНЫХ СВОЙСТВ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ С ШАРНИРНОЙ РАМОЙ

*Приведены и рассмотрены пути повышения тягово-сцепных свойств колесных тракторов с шарнирной рамой.*

*The authors considered the ways of wheel tractor with joint frame tractive-coupling characteristic increasing.*

Развитие сельскохозяйственного производства неизменно связано с созданием машин на базе принципиально новых технических решений, которые могли бы обеспечить повышение производительности труда, экономию затрат и улучшение условий труда механизатора. Для решения задач по увеличению энергонасыщенности машин и энерговооруженности средств механизации производственных процессов в различных отраслях народного хозяйства осуществляется разработка и создание унифицированных мощных колесных тракторов, и совершенствование методов их агрегатирования с сельскохозяйственными машинами и орудиями.

В особую группу колесных энергонасыщенных тракторов относят появившиеся в нашей стране трактора с шарнирной рамой (К-701М, К-744Р, Т-150К, ХТЗ-150).

Тракторы данного типа выполнены по рациональной компоновочной схеме с размещением основных сборочных единиц на несущих передней и задних полурамах, которые соединены между собой вертикальным и горизонтальным шарнирами. Высокая производительность и экономичность тракторов при работе с сельскохозяйственными машинами обеспечиваются высокой мощностью двигателя, применением шин низкого давления с повышенными тягово-сцепными свойствами, оптимальным диапазоном рабочих и транспортных скоростей.

Однако главными недостатком колесных тракторов данного типа является нерациональное распределение массы по осям (табл.1), что приводит к ухудшению показателей работы машинно-тракторного агрегата.

Статистические исследования показателей использования тракторов в сельском хозяйстве свидетельствуют о том, что средняя загрузка по мощности двигателей энергонасыщенных колесных

тракторов с шарнирной рамой составляет 50-60%. Остальную мощность двигателя трактор расходует на деформацию почвы и буксование. Значительная мощность двигателя трактора расходуется на буксование заднего ведущего моста вследствие его недогруженности, что приводит к снижению тягово-сцепных свойств и уменьшению производительности МТА.

Таблица 1

Распределение массы тракторов по осям, %

Марка трактора	К-700	К-701М	К-744Р	Т-150К	ХТЗ-150К
Передний мост	64	58	54	64	64
Задний мост	35	42	46	35	35

Высокая производительность агрегата достигается на передаче трактора с наибольшей скоростью и максимальной тяговой силой. Мощность на крюке прямопропорциональна усилию на крюке трактора, которое также зависит от сцепных свойств трактора. Таким образом, важнейшее условие эффективной работы агрегата – это достаточное сцепление движителей трактора с почвой, обеспечиваемое величиной силы сцепления  $F_{сц}$ .

Наибольшая сила сцепления движителей трактора с почвой определяется из выражения:

$$F_{сц} = G_{сц} \mu = G_{Тр} \lambda \mu = 10^3 mg \lambda \mu, \quad [1]$$

где  $G_{сц}$  – сцепной вес трактора, кН;  $\mu$  – коэффициент сцепления движителей с почвой;  $G_{сц} = 10^3 mg$  эксплуатационный вес трактора кН;  $\lambda$  – доля эксплуатационного веса, приходящаяся на ведущие мосты.

Увеличить силу сцепления, определяемую по уравнению [1], возможно несколькими способами, которые можно сгруппировать по трем классификационным признакам: конструктивные, конструктивно-эксплуатационные и эксплуатационные (рис. 1).

**К конструктивным способам** улучшения сцепных свойств можно, прежде всего, отнести изменение массы самого трактора. Так, например, масса трактора Т-150К составляет 7535 кг при эксплуатационной мощности двигателя 121,5 кВт. У трактора Т-151К при той же мощности, масса увеличена до 8200 кг.

Для улучшения сцепных свойств при трогании с места, особенно с большими нагрузками, в конструкции трактора смещают центр тяжести.

Точка прицепа рабочих машин с энергетическим средством, определяемая конструктивными особенностями навески трактора, прицепными механизмами сельскохозяйственной машины, а также углом установки прицепа относительно горизонта влияет на результирующую силу на крюке трактора.

**К конструктивно-эксплуатационным способам** относятся: сдвигание колес, применение третьего присоединяемого ведущего моста в виде тележки с активным приводом колеса называемого технологическим модулем, применение балластных грузов. Использование механического, гидравлического догружающего устройства, или применение позиционно-силового регулятора. Сила сцепления колесных движителей возрастает при заполнении шин водой, использование шин низкого давления, установке на колеса металлических почвозацепов различной конструкции, съемных гусениц, уширителей колес. В эксплуатационных условиях нередко при выполнении технологических операций трактор агрегатируют с орудием с активными рабочими органами (культиваторы, рыхлители, фрезы и др.) направление вращения которых совпадает с направлением движения агрегата. Возможен дополнительный привес опорных колес сельскохозяйственных машин.

Если заменить прицепные машины-орудия на полунавесные и на навесные, часть веса которых передается на трактор, то такая нагрузка воспринимается ведущими звеньями и улучшает сцепление движителей колесного трактора с почвой.

**В процессе эксплуатации** тракторов повлиять на сцепление можно путем постоянного контроля над техническим состоянием движителей. Замена изношенных покрышек, правильное поддержание необходимого давления воздуха в шинах колесных тракторов.

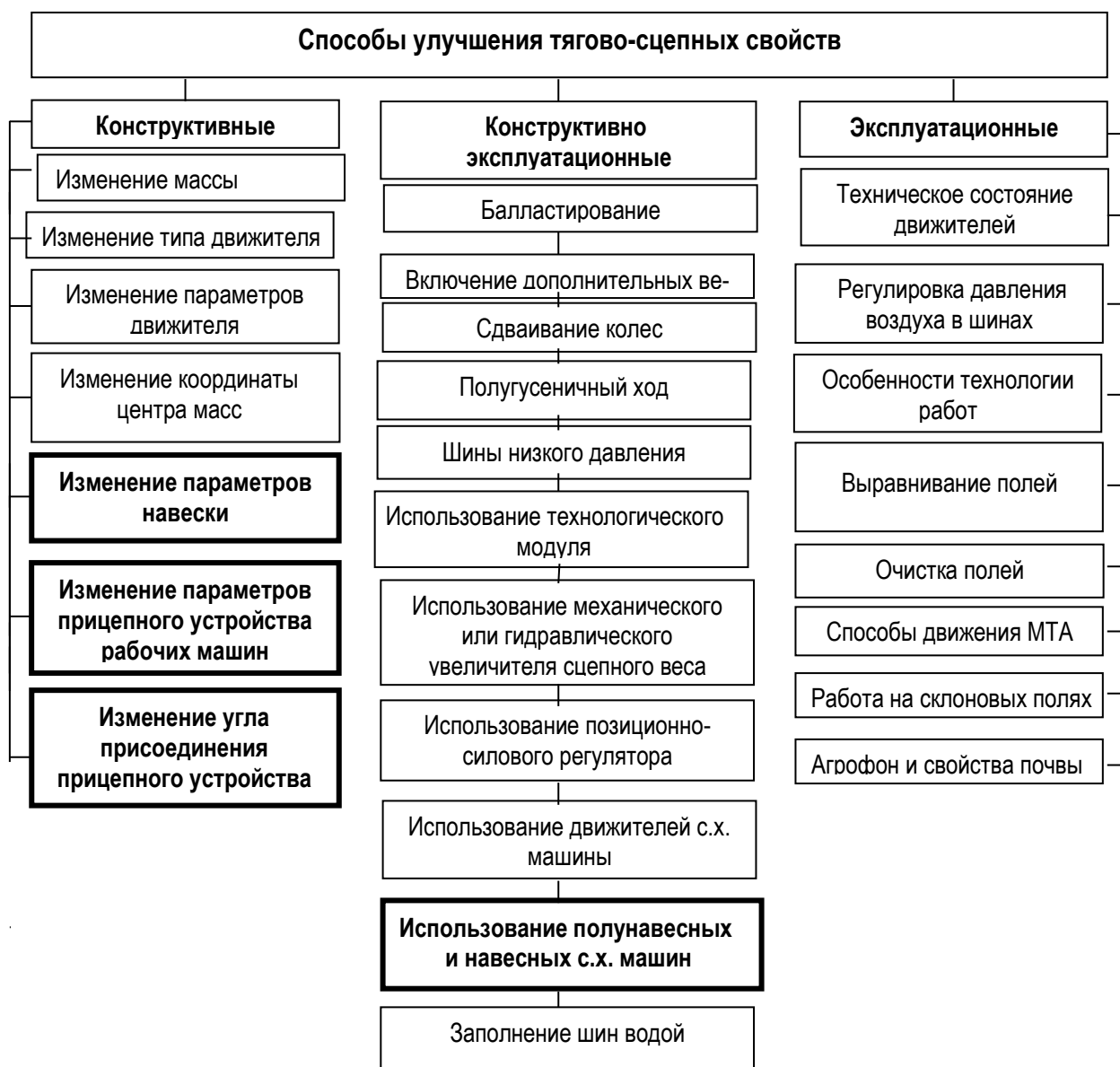


Рис. 1. Классификация способов улучшения тягово-сцепных свойств

Улучшить сцепные свойства тракторов в полевых условиях эксплуатации агрегатов можно путем тщательной подготовки рабочих участков, выполнение комплекса предварительных мероприятий по выравниванию полей, очистке загонов от пожнивных осадков, препятствий, скашивание и удаление сорной растительности перед механизированной обработкой залежных земель. Особенности проведения технологических операций, в частности отвальной обработки почвы, предполагает ведение некоторых тракторов правой стороной колес в открытой борозде, а левой по непаханой стерневой почве. В таком случае сцепные свойства двигателей относительно трактора будут разными. Правильный выбор направления движения МТА, особенно на склоновых полях, выполнение полевых работ при требуемой влажности почвы сильно влияет на сцепные свойства трактора.

Рассмотренная классификация путей улучшения тягово-сцепных свойств содержит достаточный комплекс мероприятий, позволяющий сделать выбор рационального направления совершенствования современных энергонасыщенных тракторов в составе машинно-тракторных агрегатов для достижения наивысших показателей их работы.

В настоящее время к наиболее перспективным и экономически целесообразным путям улучшения тягово-сцепных свойств колесных тракторов с шарнирной рамой можно отнести приме-

нение навесных и полунавесных сельскохозяйственных машин, совершенствование схем агрегатирования, изменение параметров навески тракторов и прицепного устройства рабочих машин.

Таким образом, из анализа путей повышения тягово-сцепных свойств колесных тракторов с шарнирной рамой видно что, необходимо проводить дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования с целью улучшения показателей работы МТА.

#### Библиографический список

1. Сельскохозяйственные тракторы «Кировец» К-744 серии Р : учебное пособие по устройству и эксплуатации / Ленивцев Г.А., Гниломедов В.Г., Глазков В.Ф. [и др.]. – СПб. : Самара, 2003. – 277 с.
2. Тракторы «Кировец» К-701М, К-701МБ. – Внешторгиздат, 1990. – 175 с.
3. Трактор «Кировец» К-700 / М.Г. Пантюхин, Л.И. Безверхний, А.М. Савин [и др.]. – Л. : Колос, 1976. – 304 с.
4. Старцев, С.В. Классификация способов улучшения сцепных свойств тракторов / Старцев С.В., Горбань // Известия СГСХА. – №3. – 2006. – С. 63-65.
5. Мусин, Р.М. Методы повышения тягово-сцепных свойств МТА с колесным трактором класса 1,4 на вспашке / Мусин Р.М., Мингалимов Р.Р., Рахматуллин Р.А. // Актуальные проблемы сельскохозяйственной науки и образования : сб. науч. тр. – Самара, 2005. – С. 53-55.

УДК 631.3

Гамаюнов П.П. д.т.н., профессор; Алексеев С.А. к.т.н., доцент; Ерохин А.Ю. студент;  
Рицман С.В. студент (Саратовский ГАУ)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ И ДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ТЯГОВО-СЦЕПНОГО УСТРОЙСТВА

*Представлены результаты оценки свойств транспортной системы управления (ТСУ) и упругой демпфирующей транспортной системы управления (УДТСУ) тракторного транспортного поезда (ТТП).*

*In the paper the results of transport system properties evaluation are show. And also the authors demonstrated the results of tractor transport train resilient demphing management system.*

Исходя из условия влияния свойств тягово-сцепного устройства (ТСУ) на динамику тракторного транспортного поезда (ТТП) их определение проводили в такой последовательности:

- 1) демпфирующие свойства;
- 2) упругие свойства (амплитуда колебаний нагрузки, среднее значение величины колебаний);
- 3) зависимость силы тяги: от массы прицепов; от скорости поворота (угловая скорость поворота).

В соответствии с данным порядком были выполнены вычислительные эксперименты, результаты которых представлены на рисунках 1-3.

В экспериментах учитывался достаточно большой запас поперечной устойчивости  $\mu=0,5$ . Движение трактора моделировалось так, чтобы активное УДТСУ не срабатывало, а теоретически начинало работать только при значении запаса поперечной устойчивости  $\mu= 0,1...0,2$  (в зависимости от регулировки).

На рисунках 1–4 представлены зависимости, характеризующие основные свойства упругой демпфирующей транспортной системы управления (УДТСУ) и его способность к работе в определенных условиях. Из рисунка 1 видно, что усилие на крюке находится в прямо пропорциональной зависимости от жесткости (коэффициента упругости УДТСУ). Конструктивно это выполнено в виде пружин, установленных внутри гидроцилиндра.

Точно такой же характер имеет зависимость для серийного ТСУ. Если учесть, что расчеты были проведены для беззазорной сцепки, то аналогом служит ТСУ с выбором зазора (данные конструкции хорошо известны и широко распространены). На рисунках 2, 3 показаны зависимости амплитуды колебаний тягового усилия.

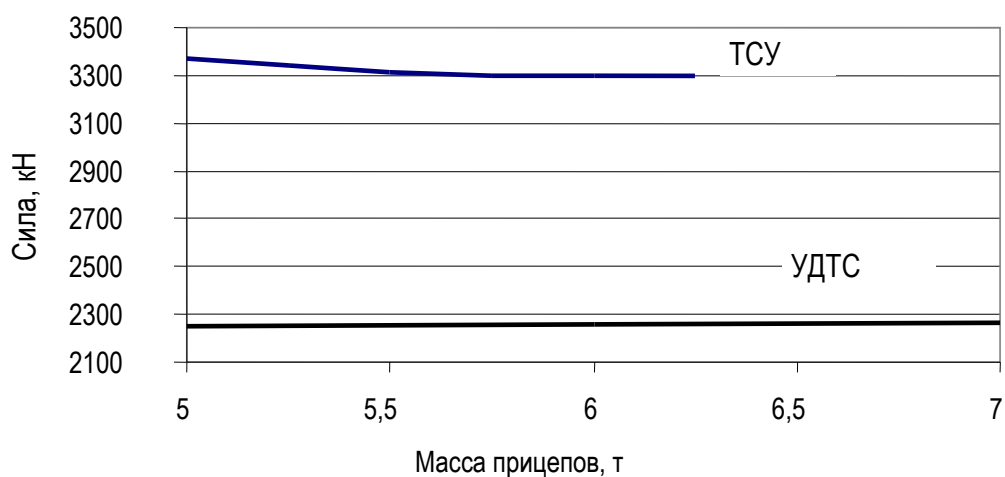


Рис. 1. Зависимость значения максимального тягового усилия от жесткости:  
1 – ТСУ; 2 – УДТСУ (масса 4 т, скорость 20 км/ч, угловая скорость 0,15 рад/с)

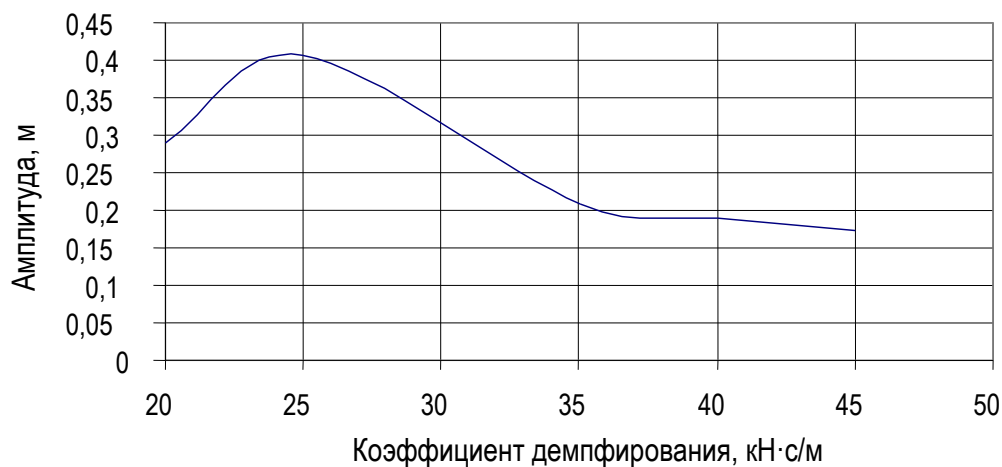


Рис. 2. Зависимость амплитуды колебаний штока УДТСУ от коэффициента демпфирования  
(скорость 20 км/ч, угловая скорость 0,15 рад/с)

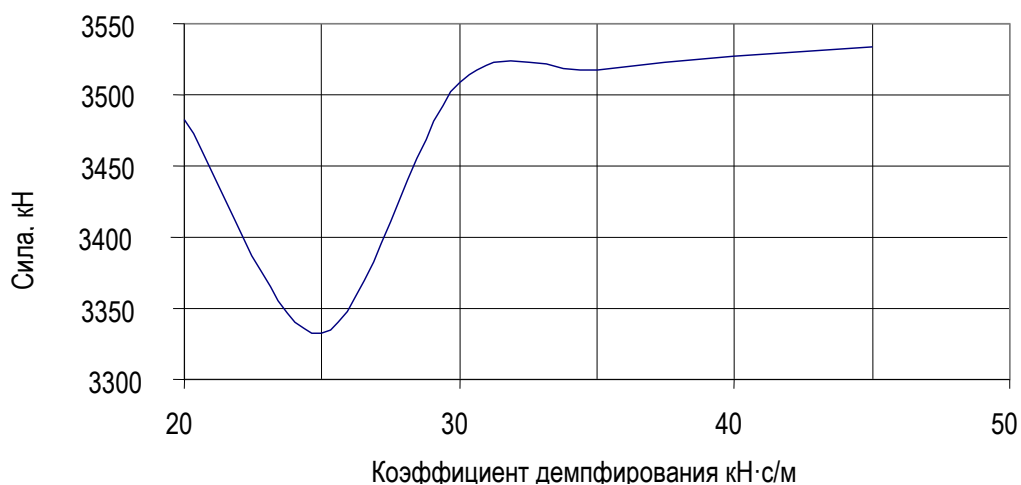


Рис. 3. Зависимость значения тягового усилия от коэффициента демпфирования УДТСУ (скорость 20 км/ч, угловая скорость 0,15 рад/с)



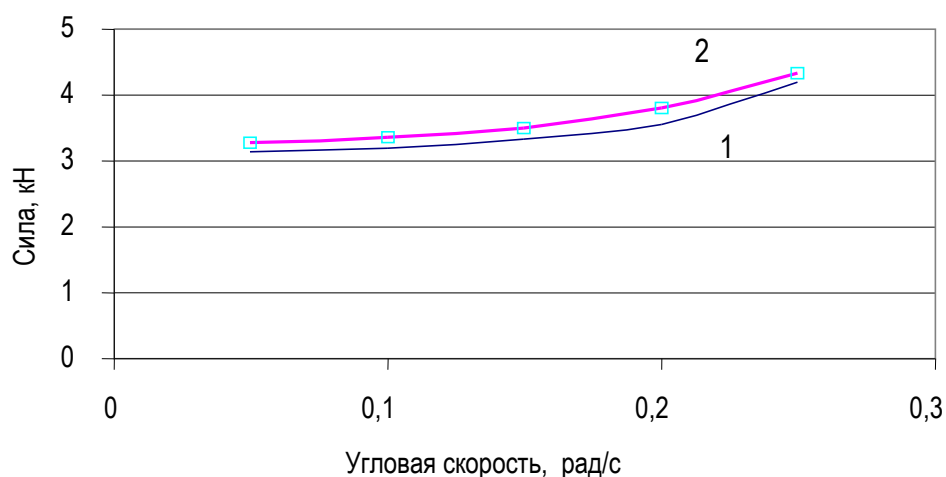


Рис. 4. Зависимость тягового усилия от угловой скорости поворота (масса 4 т, скорость 20 км/ч):  
1 – ТСУ, 2 – УДТСУ

Все данные взяты при входе поезда в поворот. Видно, что зависимость тягового усилия обычного ТСУ линейна, УДТСУ имеет слегка квадратичный характер, за счет того, что происходит частичное погашение энергии ударов.

Анализируя зависимости на рисунке 5, можно увидеть разный характер работы УДТСУ и ТСУ, выражающийся в том, что использование УДТСУ обеспечивает плавное восприятие нагрузки, в результате чего снижается износ элементов сцепки.

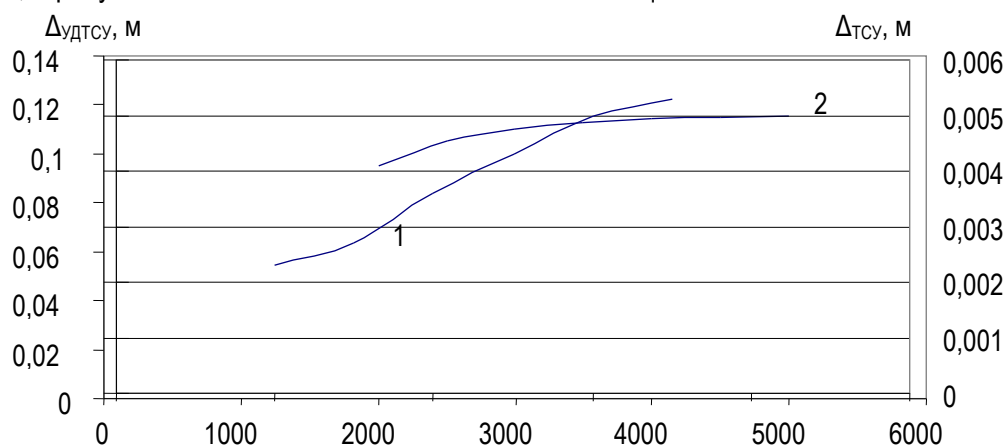


Рис. 5. Перемещения и деформации в тягово-сцепных устройствах:  
1 – зависимость амплитуды колебаний УДТСУ от массы прицепа;  
2 – зависимость амплитуды упругой деформации в ТСУ от массы прицепа  
(масса 4 т, скорость 20 км/ч, угловая скорость 0,15 рад/с)

В результате проведенных сравнительных испытаний активного УДТСУ, серийного ТСУ и установления их основных физических свойств были определены «условно постоянные параметры» при наличии одного прицепа. Для изучения поведения различных по своему составу поездов в разных условиях движения провели теоретическое моделирование. Основными параметрами, характеризующие движение поезда и служащие контрольными точками при отладке программы, являются:

- скорость движения тракторного поезда;
- амплитуда колебаний упругих деформаций ТСУ;
- амплитуда колебаний штока УДТСУ;
- среднее значение тягового усилия трактора;
- среднеквадратичное отклонение значения тягового усилия трактора;

- среднее значение тягового усилия  $n$ -го прицепа; среднеквадратичное отклонение значения тягового усилия  $n$ -го прицепа;
- среднее значение силы инерции, действующей на трактор; среднее значение силы инерции, действующей на 1-е и 2-е прицепные звенья; среднеквадратичное отклонение значения силы инерции, действующей на трактор;
- среднеквадратичное отклонение значения силы инерции, действующей на 1-е и 2-е прицепные звенья; линейные координаты всех кинематических звеньев поезда; угловые координаты всех кинематических звеньев поезда.

Исследованиями установлено, что наиболее важный параметр – значение тягового усилия трактора. Так как задачей эксперимента являлось выявление преимуществ и недостатков смоделированного устройства, то и все представленные диаграммы необходимы для сравнения параметров.

Разработана математическая модель движения ТТП в широком диапазоне транспортных работ, учитывающая влияние типа ТСУ, силы, действующей на все звенья поезда, характеристики двигателя, колес звеньев поезда, фона дорожного полотна, массы перевозимого груза. Разработана методика определения запаса поперечной устойчивости кинематических звеньев с устройствами типа УДТСУ за счет увеличения и стабилизации тягового усилия.

УДК 631.3

Гамаюнов П.П. д.т.н., профессор; Алексеев С.А. к. т. н., доцент; Ерохин А.Ю. студент;  
Рицман С.В. студент (Саратовский ГАУ)

## ОПТИМАЛЬНЫЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ РЕЖИМ ДВИЖЕНИЯ ТРАКТОРНО-ТРАНСПОРТНОГО ПОЕЗДА НА ПОВОРОТЕ

*Рассмотрены особенности и сравнительная оценка транспортной системы управления (ТСУ) и упругой демпфирующей транспортной системы управления (УДТСУ). Показаны динамические преимущества УДТСУ тракторного транспортного поезда (ТТП).*

*In this article the features and the compative estimation of transport system management and soft dempht-raising transport system are considered. Dynamic advantages of tractor transport trains are shown.*

Основные параметры движения тракторно-транспортного поезда (ТТП), оборудованного упругой демпфирующей транспортной системой управления (УДТСУ), на повороте представлены на рисунках 1-8. Так, на рисунке 1 приведена зависимость тягового усилия в тягово-сцепном устройстве (ТСУ) и УДТСУ от массы прицепов при угловой скорости 0,15 рад/с, скорости движения 5,5 м/с (25 км/ч). При сравнении видно, что средние значения тягового усилия в ТСУ меньше на 10-12%, что объясняется тем, что активное УДТСУ создает дополнительное тяговое усилие 2-5 кН.

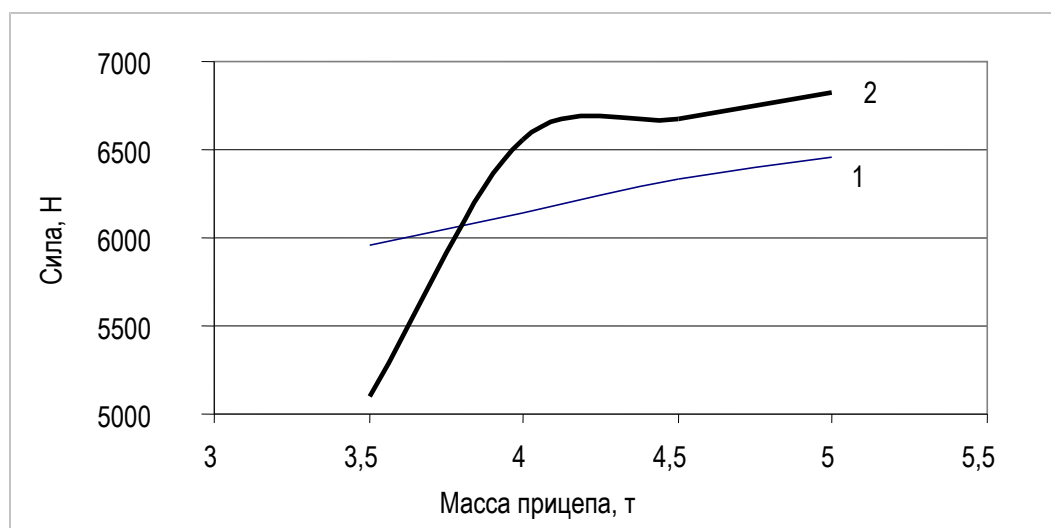


Рис. 1. Зависимость тягового усилия от массы прицепов: 1 – ТСУ; 2 – УДТСУ

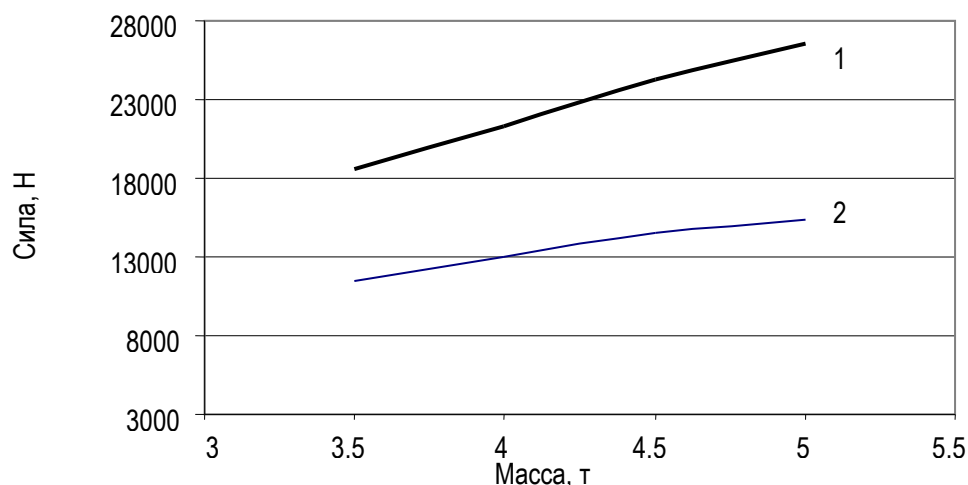


Рис. 2. Зависимость максимального тягового усилия от массы прицепов (скорость 20 км/ч, радиус поворота 15 м): 1 – ТСУ; 2 – УДТСУ

Были проведены расчеты по определению движения тракторного поезда с разными по конструкции тягово-сцепными устройствами. В результате проведенных расчетов было установлено, что при движении с малыми сопротивлениями скорость поезда с УДТСУ на 2-3% больше, а колебания скорости на 10-25% меньше.

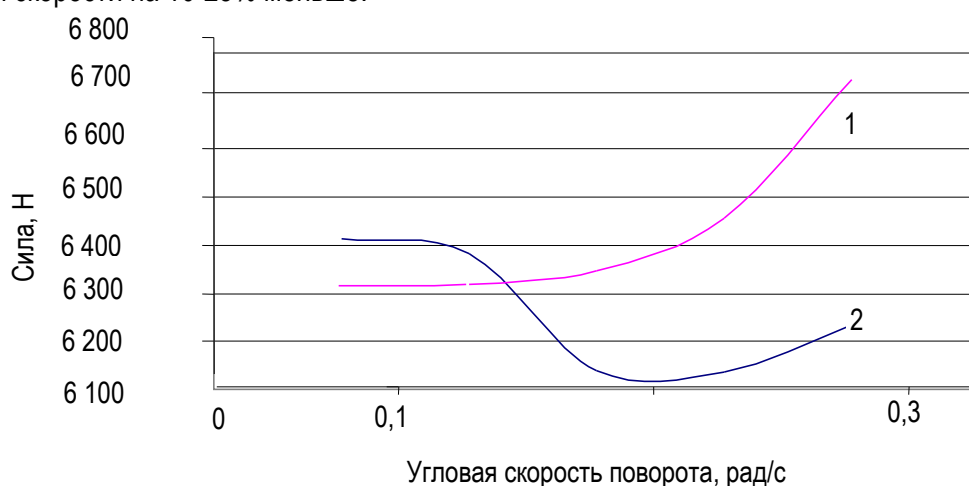


Рис. 3. Зависимость среднего тягового усилия от скорости поворота трактора (масса 5 т, радиус поворота 15 м): 1 – ТСУ; 2 – УДТСУ

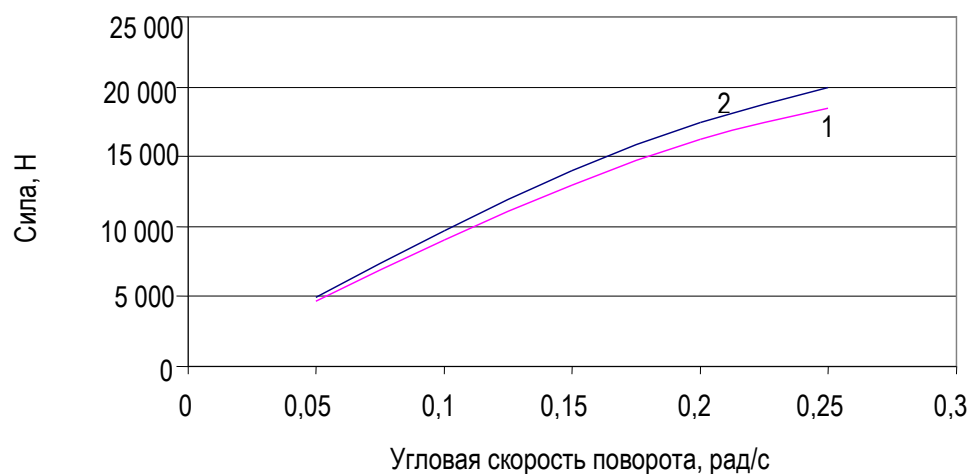


Рис. 4. Зависимость максимальной силы инерции 1-го прицепного звена от угловой скорости поворота (масса 5 т, радиус поворота 15 м): 1 – ТСУ; 2 – УДТСУ

Анализ графических зависимостей на рисунках 2, 3 показал, что использование УДТСУ в ТТП снижает максимальное и среднее тяговое усилие от скорости поворота на 10–20% в сравнении с серийным ТСУ.

Однако силы инерции, действующие на прицепные звенья, с применением УДТСУ всегда больше. Это объясняется тем, что с применением УДТСУ становится меньшим радиус поворота, при этом увеличивается сопротивление движению ТТП (рис. 2, 4). Однако при этом характер взаимодействия всех кинематических звеньев поезда с применением УДТСУ иной, чем с обычным ТСУ. В процессе расчетов при оценке поперечной устойчивости по комплексному показателю запаса поперечной устойчивости практически сразу можно определить преимущества того или иного устройства. Устойчивость прицепного звена поезда, оборудованного УДТСУ, увеличивается на 40–60 % и он практически не теряет устойчивости, вопреки достаточно большим массам и угловым скоростям движения, в отличие от поезда, оборудованного обычным ТСУ, который устойчив только при низких скоростях движения (рис. 5, 6, 7).

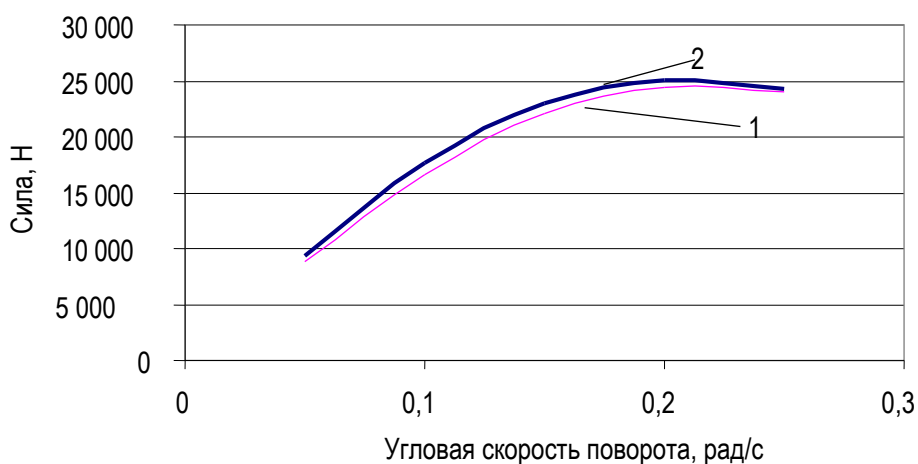


Рис. 5. Зависимость максимальной силы инерции 2-го прицепного звена от угловой скорости поворота (масса 5 т, скорость 20 км/ч): 1 – ТСУ; 2 – УДТСУ

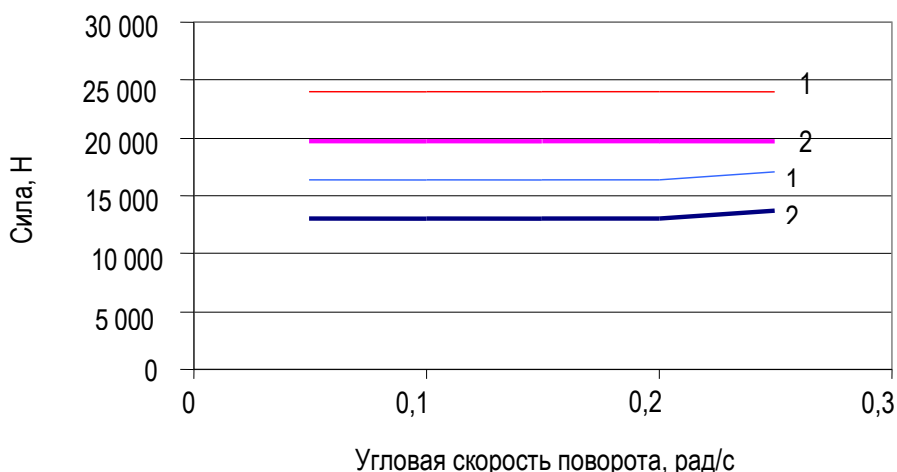


Рис. 6. Зависимость амплитуды колебаний максимального тягового усилия от угловой скорости поворота трактора (масса 5 т, скорость 20 км/ч): 1 – ТСУ; 2 – УДТСУ

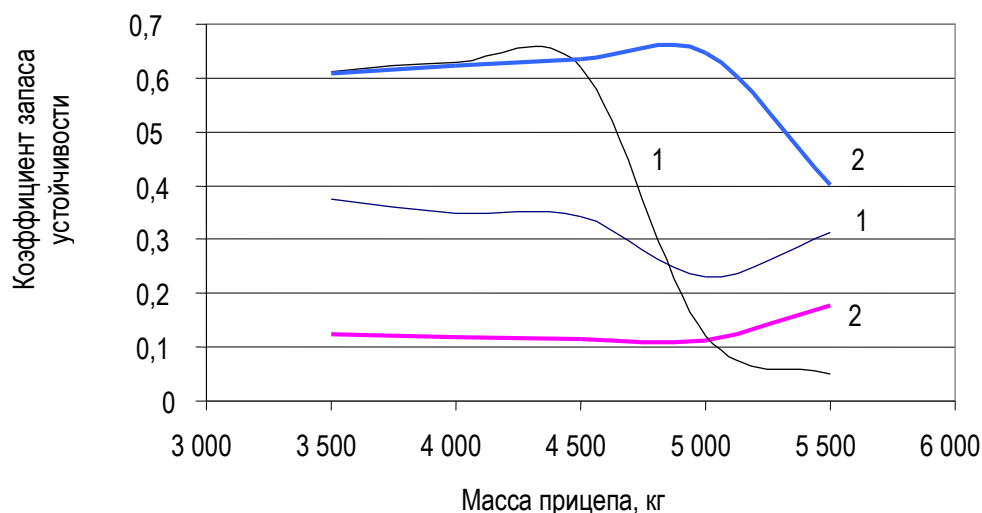


Рис. 7. Зависимость запаса поперечной устойчивости и дисперсии среднего значения от массы прицепов (скорость 20 км/ч, радиус поворота 15 м): 1 – ТСУ; 2 – УДТСУ

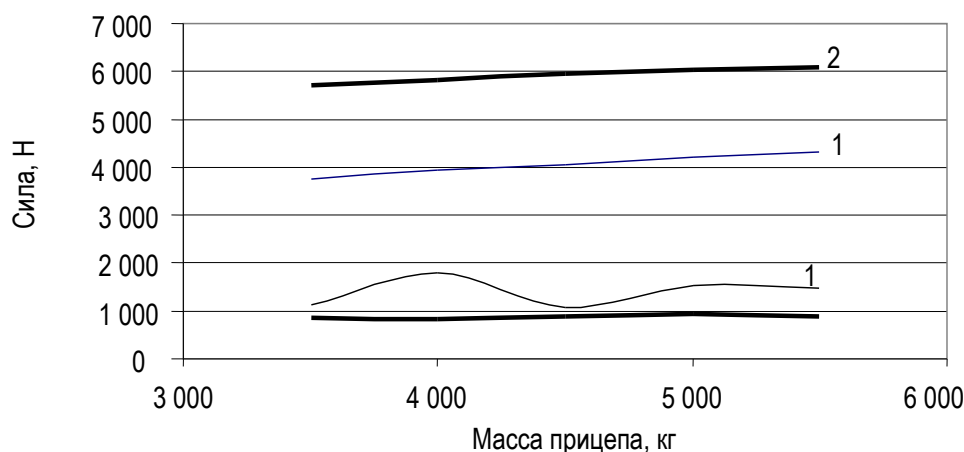


Рис. 8. Зависимость среднеквадратичного отклонения тягового усилия от массы прицепов (скорость движения 20 км/ч, радиус поворота 15 м): 1 – ТСУ; 2 – УДТСУ

Из вышеизложенного следует, что в результате проведенных вычислений при моделировании движения многосвязного тракторного поезда получены оптимальные характеристики УДТСУ, теоретически определено влияние на параметры движения тракторного поезда: угловой скорости поворота, сопротивления движению, скорости движения и массы прицепных звеньев.

Опыт эксплуатации ТТП показывает, что неустановившееся движение, сопровождаемое неустойчивостью нагрузок, является одной из основных причин, ограничивающих скорость движения, грузоподъемность, полезную загрузку двигателя.

Используя величину и диапазон изменения обобщенных оценочных показателей возмущающих воздействий, были определены основные составляющие, в которых проявляются эти воздействия:  $a$  – коэффициент, учитывающий повышение сопротивления движению в моменты трогания с места;  $j$  – коэффициент, учитывающий ускорения сцепных масс;  $f$  – коэффициент сопротивления качению каждого составленного звена;  $\varphi$  – коэффициент, учитывающий тягово-сцепные качества транспортного средства и  $k$  – обобщенный коэффициент [1, 2].

Для ввода коэффициента  $k$  в конструкцию транспортного средства рассмотрена трехзвенная схема с учетом действия основных факторов (рис. 9).

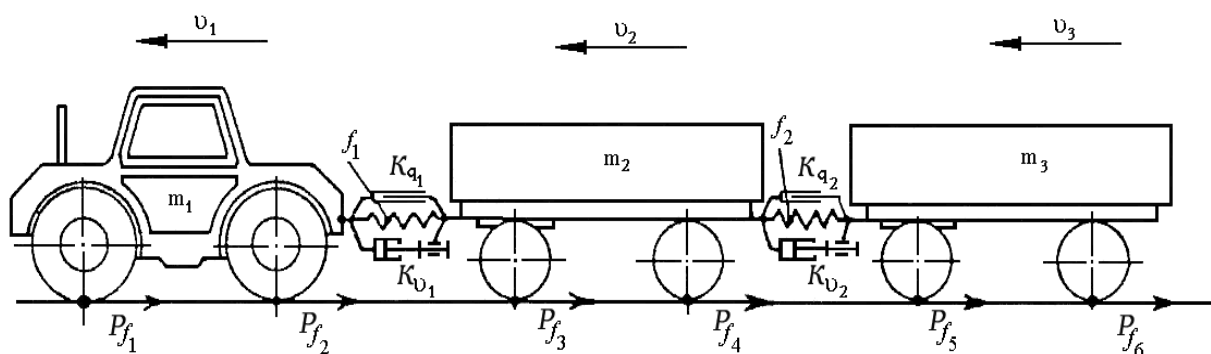


Рис. 9. Динамическая система тракторного поезда с учетом действия основных факторов

При теоретическом исследовании динамической системы (рис. 9) она была описана следующими дифференциальными уравнениями:

$$\frac{m_1 m_2 (\ddot{v}_2 - \ddot{v}_1) + m_1 m_3 (\ddot{v}_3 - \ddot{v}_1)}{m_1 + m_2 + m_3} = k_{q1} (v_1 - v_2) + k_{v1} (\dot{v}_1 - \dot{v}_2) + f_1 (v_1 - v_2); \quad (1)$$

$$\frac{m_1 m_3 (\ddot{v}_3 - \ddot{v}_1) + m_2 m_3 (\ddot{v}_3 - \ddot{v}_2)}{m_1 + m_2 + m_3} = k_{q2} (v_2 - v_3) + k_{v2} (\dot{v}_2 - \dot{v}_3) + f_2 (v_2 - v_3), \quad (2)$$

где  $m_1, m_2, m_3$  – соответственно масса первого, второго и третьего составного звена транспортного средства;  $\ddot{v}_2 - \ddot{v}_1, \ddot{v}_3 - \ddot{v}_1, \ddot{v}_3 - \ddot{v}_2$  – относительные ускорения составных звеньев;  $\dot{v}_2 - \dot{v}_1, \dot{v}_3 - \dot{v}_1, \dot{v}_3 - \dot{v}_2$  – скорости относительных перемещений сцепных масс;  $k_{q2} (v_2 - v_3), k_{q1} (v_1 - v_2)$  – нелинейные характеристики демпфирующих элементов первого и второго сцепных устройств, зависящие от величины усилий в тяговых звеньях;  $k_{v1}, k_{v2}$  – коэффициенты демпфирования соответственно первого и второго сцепных устройств, учитывающие изменения относительных скоростей движения сцепных масс;  $f_2 (v_2 - v_3), f_1 (v_1 - v_2)$  – нелинейные характеристики упругих элементов первого и второго сцепных устройств.

Приведенные выражения отражают общую характеристику рационального взаимодействия сцепных масс транспортных средств.

По полученным параметрам была произведена оптимизация характеристик упругих и демпфирующих сил (рис. 10).

Характеристика (рис. 10) представляет собой выражение оптимального асимметричного эксплуатационного режима работы упругих связей при прямом, обратном и полном циклах их срабатывания.

Ось асимметрии  $a - a$  показывает положение тягового звена в ненагруженном состоянии. Асимметрия по величине перемещений тягового звена упругих связей выражается разностью величин  $L_1 - L_2$ .

При движении транспортного средства под действием средней расчетной нагрузки на передвижение прицепного состава  $P_{cp}$  тяговое звено упругой связи должно занять положение оси симметрии  $b - b$ , переместившись на величину  $L_{P_{cp}}$ .

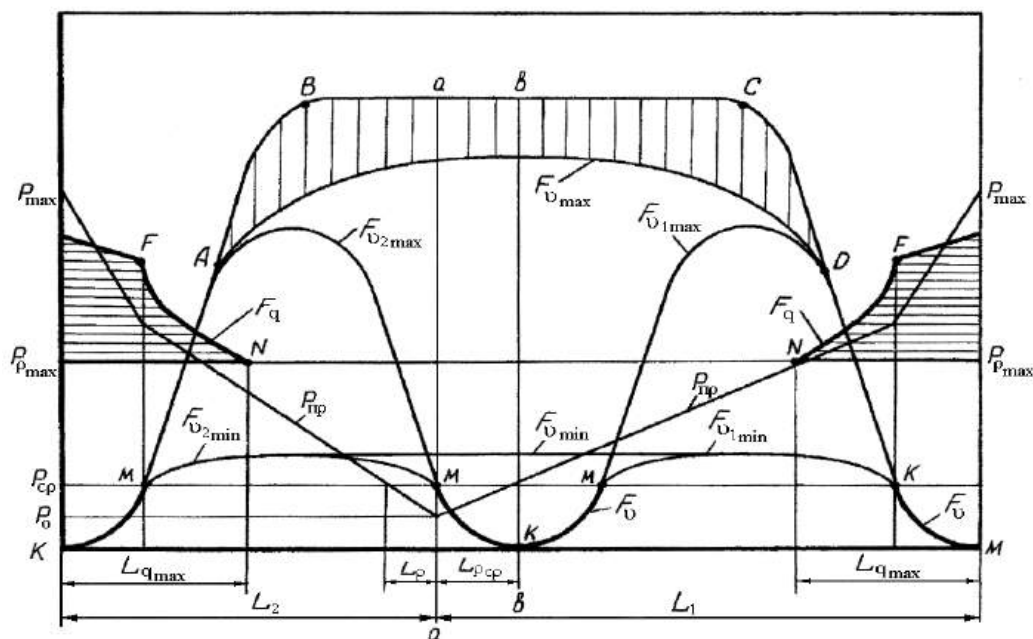


Рис. 10. Характеристика упругих и демпфирующих сил тягово-сцепного устройства

В этом рабочем положении упругая связь способна выполнять симметричное перемещение составных звеньев путем передачи оптимального количества энергии от одного к другому. Эта работа может осуществляться как на прямом, так и на обратном полном циклах срабатывания упругой связи в зависимости от величины и времени воздействия случайных возмущающих сил.

Зависимости  $P_{пр}$ ,  $F_q$ ,  $F_{v_{max}} - F_{v_{min}}$  являются характеристиками изменения жесткости упругих элементов, вводимых между сцепными массами конструкции.

При воздействии возмущающих сил мощность блокировки тягового звена описывается кривыми  $F_{v_{1max}}$  прямого и  $F_{v_{2max}}$  обратного полупериодов. С уменьшением возмущающих воздействий работа по блокировке тягового звена может снизиться на этих полупериодах до величин, описываемых кривыми  $F_{v_{max}}$  и  $F_{v_{min}}$ .

При возмущающем воздействии длительного периода упругая связь способна в автоматическом режиме осуществлять блокировку тягового звена по характеристике  $F_{v_{max}}$  в полном цикле. Величина площадей, описывающих работу по блокировке относительных перемещений сцепных масс, находящихся в диапазоне  $F_{v_{max}} - F_{v_{min}}$ , будет зависеть от мощности возмущающего воздействия.

В случае возникновения возмущающих воздействий, превышающих по своей мощности обычные рабочие нагрузки, работу по их блокировке должен выполнять гидравлический автомат демпфирующей системы, дифференцированной по скорости относительных перемещений сцепных масс. Характеристика его работы представлена на диаграмме изменения упругих и демпфирующих сил зоной ABCD.

С целью получения минимальной неравномерности сопротивления передвижению и максимально-полезного использования силы тяги транспортного средства, демпфирующие элементы упругой связи должны быть снабжены свойствами, обеспечивающими плавные переходные режимы при блокировке относительных перемещений сцепных масс. Участки кривых, обеспечивающих переходные режимы подключения в работу демпфирующих систем, представлены на диаграмме зависимостями KM и NF.

Представленные теоретические положения могут найти воплощение при разработке ряда конструкций, имеющих отношение к относительным перемещениям взаимодействующих динамических систем. Совершенствование транспортных средств по представленным характеристикам

позволит получить динамическую систему, способную устойчиво реагировать на воздействие любых возмущающих факторов. Это, в свою очередь, существенно улучшит технико-экономические показатели работы ТТП, превратит их в скоростные и комфортные средства доставки народнохозяйственных грузов.

#### Библиографический список

1. Гамаюнов, П.П. Улучшение тягово-эксплуатационных показателей тракторно-тягового агрегата с использованием упругодемпфирующих связей : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 1989. – 26 с.
2. Гамаюнов, П.П. К вопросу совершенствования динамических качеств транспортных средств / П.П. Гамаюнов, А.М. Федотов, В.И. Гурьев // Актуальные проблемы эксплуатации транспорта : межвуз. науч. сб. – Саратов, 1990. – С. 60-66.



# ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

УДК 620.179.112

Ленивцев Г.А. к.т.н., профессор; Володько О.С. к.т.н., доцент

## ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ТРАНСМИССИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТРАКТОРОВ

*Рассмотрены трибологические пути повышения надежности агрегатов трансмиссии сельскохозяйственных тракторов.*

*The tribological methods of farm tractors transmission units reliability increase of are considered.*

Надежность, как один из основных показателей технического уровня машин и механизмов, определяет в первую очередь совершенство механики контактного взаимодействия поверхностей трения. В сборочных единицах трансмиссий сельскохозяйственных тракторов, работающих в широком интервале изменения нагрузочно-скоростных режимов, климатических условий и запыленности окружающего воздуха, ресурсопределяющими сопряжениями в большинстве случаев выступают поверхности трения шестерен, подшипников, фрикционных дисков и шлицевых соединений.

Современный трибологический подход к оценке контактного взаимодействия поверхностей трения основан на анализе взаимодействия основных элементов трибологической системы машины, механизма или ресурсопределяющего сопряжения [1, 2, 4, 5]. Рассматривая тракторную трансмиссию, как трибологическую систему (ТС) с основными ее элементами ( $D_1$  и  $D_2$  – сопряженные поверхности трения,  $M$  – масло,  $A$  – окружающая среда) по схеме «механизм – масло – условия эксплуатации» (рис. 1), необходимо выделить определяющие факторы влияния на параметры трения и изнашивания с целью оптимизации последних для конкретных конструктивно-технологических решений и реальных режимов эксплуатации.

При входных параметрах ТС (нагрузка  $P$ , скорость  $V$ , тепловой поток  $Q$ , вязкость масла  $\nu$ , факторы окружающей среды) взаимосвязи ее компонентов характеризуют основные трибологические выходные параметры (сопротивление трения в форме величины износа  $i$  и скорости изнашивания  $I$ , а также сопутствующие процессы – тепловые, термохимические, изменение свойств смазочного материала и т.п.).

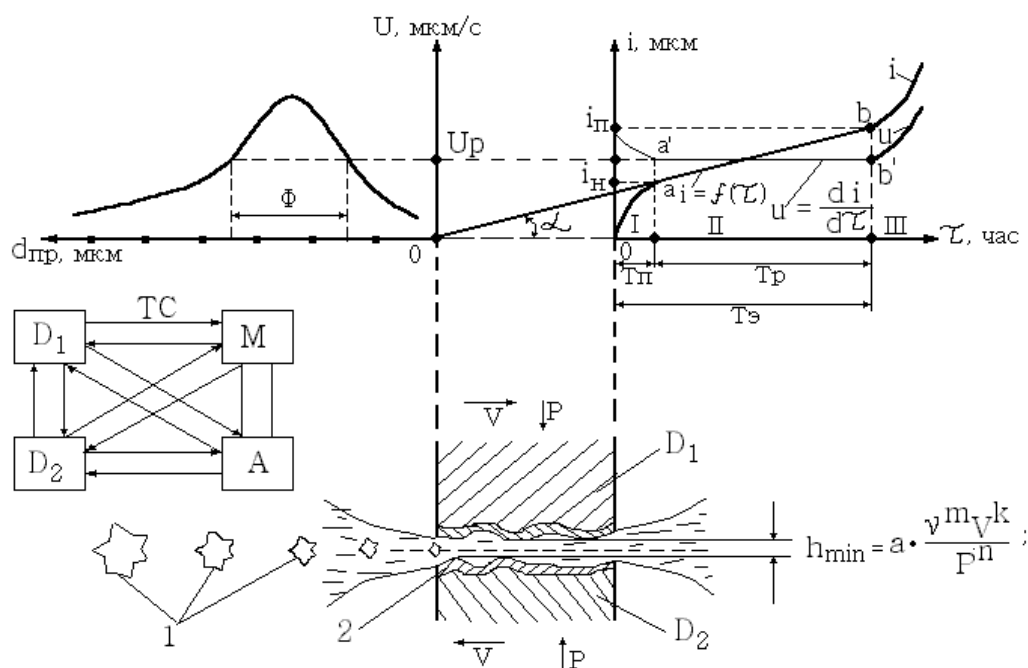


Рис. 1. Схема «механизм – масло – условия эксплуатации» ТС тракторной трансмиссии:  
 $i$  – износ деталей (изменение зазора);  $i_n$  – начальный износ (после приработки в течении  $T_n$ );  
 $i_p$  – предельный износ, характеризующий ресурс сопряжения  $T_p$  и полное время эксплуатации  $T_3$ ;  
 $U_p$  – регламентированная скорость изнашивания, обеспечивающая ресурс сопряжения  $T_p$ ;  
 $d_{np}$  – средний диаметр абразивных частиц;  $\Phi$  – оптимальная зона фильтрации масла;  
 $D_1$  и  $D_2$  – сопряженные детали;  $M$  – смазочный материал;  $A$  – окружающая среда, влияющая на условия работы сопряжения;  $h_{min}$  – минимальная толщина масляного слоя между деталями;  $\nu$  – вязкость масла;  
 $V$  – скорость взаимного перемещения деталей;  $P$  – нагрузка в сопряжении;  $a, m, n, k$  – коэффициенты, учитывающие особенности сопряжения; 1 – абразивные частицы; 2 – защитная пленка поверхности трения

Режим смазывания, как определяющий фактор ТС, характеризуется минимальной толщиной смазочного слоя  $h_{min}$ , обусловленной функциональной связью с основными входными параметрами ( $P, V, \nu$ ) и совместно с эффектом адсорбированной на поверхности трения окисной пленки иллюстрирует процесс изнашивания сопряжений с тремя характерными состояниями ТС. Состояние I (приработка), т.е. приспособление ТС к оптимальным условиям взаимодействия деталей  $D_1$  и  $D_2$ . Износ в этот период описывается степенной функцией от продолжительности приработки и современные технологии направлены на более быстрое и качественное формирование поверхностей трения с увеличением фактической площади контакта (ФПК) и созданием защитных сервовитных пленок. Это направлено на снижение приработочного износа и соответствующее увеличение основного состояния II ТС с ресурсным периодом эксплуатации  $T_3$  при постоянной регламентированной скорости изнашивания  $I_p$  до предельного износа  $i_p$  сопряжения ресурсопределяющих деталей. Применительно к трансмиссии сельскохозяйственных тракторов скорость изнашивания в определяющей степени зависит от абразивной агрессивности окружающей среды (концентрация и дисперсность абразивных частиц 1 в масле), что определяет необходимый уровень  $\Phi$  фильтрации масла в смазочной системе. Период III характеризует интенсивное изнашивание деталей ТС, которое может иметь лавинный характер и привести к аварии. Это является следствием изменения свойств материалов трибологического контакта, качества смазки и возникновения вредных побочных процессов.

Проведенные на кафедре «Тракторы и автомобили» и в учебно-научно-исследовательской лаборатории «Повышение надежности и эффективности механических систем» (УНИЛ ПНЭМС) Самарской ГСХА длительные (начиная с 1961 г.) исследования режимов смазки и методов рационального использования масел в трансмиссиях и гидравлических системах сельскохозяйственных тракторов позволяют выделить следующие пути оптимизации основных выходных параметров ТС:

- обоснование рациональных способов подвода масла к поверхностям трения;
- оценка напряженности работы и бифункциональной роли смазочных материалов и их композиций, обеспечивающих оптимальную ФПК поверхностей трения;
- обеспечение герметичности механизмов;
- формирование поверхностных слоев контактирующих деталей с оптимальным характером изменения градиента их твердости;
- альтернативное использование растительных масел в смазочных и гидравлических системах.

Исследования [7] показали, что рациональным способом смазки тракторных трансмиссий является циркуляционная смазочная система с подачей очищенного по критерию  $\Phi$  (рис. 1) масла в зону выхода зубьев шестерен из зацепления и регулированием его температурного режима. Сравнительными стендовыми и эксплуатационными испытаниями установлено, что циркуляционная смазочная система позволяет:

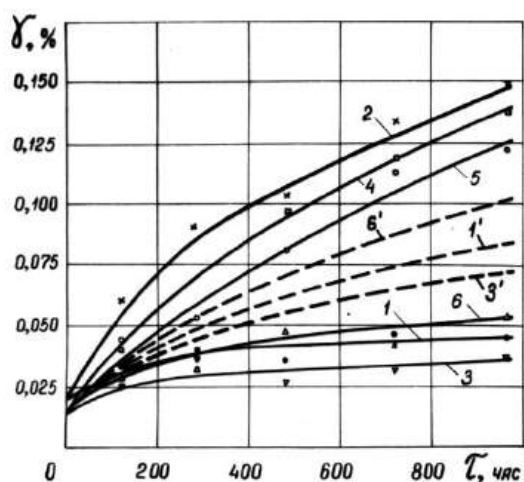


Рис. 2. Зависимость содержания железа в масле от времени работы трансмиссии трактора Т-4А

при разных способах смазки с фильтрацией (1, 3 и 6) и без фильтрации (2, 4 и 5) масла:  
 1, 3 и 6 – циркуляционная смазочная система;  
 2, 4 и 5 – картерная смазка;  
 1', 3' и 6' – с учетом железа, задерживаемого в масляном фильтре

- снизить среднюю скорость изнашивания деталей в 1,5...1,8 раза (рис. 2) и выкрашивание «питтинг» рабочих поверхностей (рис. 3);

- увеличить в 2,0...2,5 раза срок службы трансмиссионного масла с использованием его всесезонных сортов;

- снизить энергетические потери и повысить к.п.д. трансмиссии на 2,5...7%, с соответствующим улучшением топливной экономичности трактора;

- оптимизировать потенциальные свойства конструкции тракторов с точки зрения материалоемкости трансмиссии и равнопрочности ее сборочных единиц.

Преимущества циркуляционной смазочной системы обусловлены улучшением параметров процесса трения контактирующих поверхностей ввиду оптимальной подачи масла и поддержания достаточного и устойчивого смазочного слоя, обеспечение стабильного температурного режима и своевременного отвода тепла из зоны трения, защиты контакта от абразивного воздействия механических примесей. При этом представляется возможным воздействовать на напряженность работы трансмиссионного масла.

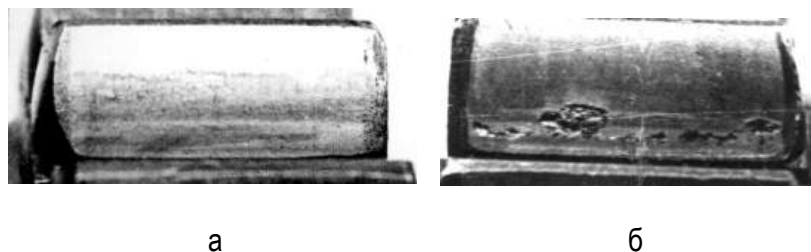


Рис. 3. Состояние рабочих поверхностей зубьев (1000 часов работы, масло ТМ-3-18):  
 а – циркуляционная смазочная система; б – картерная смазка

В трансмиссиях энергонасыщенных тракторов с гидравлическими фрикционными муфтами переключения передач без разрыва потока мощности напряженность работы масла обуславливается его бифункциональной ролью. Масло, в данном случае, должно обеспечивать как

снижение трения и изнашивания рабочих поверхностей шестерен, подшипников и шлицевых соединений, так и сохранение фрикционных свойств дисков муфт переключения передач, работающих в масляной среде. Многообразие перечисленных факторов и конструктивного исполнения силовых передач современных тракторов требует комплексный подход к исследованиям по оценке напряженности работы и ресурса трансмиссионного масла.

Исследованиями [6, 7] теоретически и экспериментально обоснован потенциальный ресурс масла с учетом напряженности его работы в сборочных единицах трансмиссий тракторов сельскохозяйственного назначения и разработан регламент эксплуатации трансмиссионного масла. Предложен удельный показатель напряженности и установлено его влияние на срок службы трансмиссионного масла и необходимый объем масла в смазочной системе трансмиссии:

$$H = F \cdot n / V_o ; \quad (1)$$

$$T = A \cdot H^B ; \quad (2)$$

$$V_p = a \cdot T \cdot \sum_{i=1}^m (V_{oi} \cdot z_i) / (A \cdot H_i^B), \quad (3)$$

где  $F$  – нагрузка в контакте;  $n$  – частота воздействия нагрузки;  $V_o$  – участвующий в контакте объем масла;  $A$  и  $B$  – коэффициенты смазывающей способности масла;  $a$  – размерный коэффициент;  $m$  – число сопряжений;  $z$  – число элементарных объемов масла.

Для современных тракторных трансмиссий экспериментально установлено и обосновано предельное значение удельного показателя напряженности работы трансмиссионного масла  $H=23$  МН/(мкл·мин). Экспериментально определенные значения коэффициентов  $A$  и  $B$  позволяют оценить напряженность работы  $H$  и необходимый объем масла в смазочной системе  $V_p$  с учетом реальных условий эксплуатации при использовании регламентированной марки масла, его трибологических свойств и загрязнения абразивными примесями.

Таблица 1

Значения коэффициентов  $A$  и  $B$  функций напряженности для разных масел

Марка масла	$A$	$B$
M 8B (SAE20, API CB)	490,607	-1,238
M 8Г <sub>2</sub> (SAE 30, API CC)	826,127	-1,736
TM-2-18 (SAE 90, GL – 2)	299,194	-0,601
TM-4-18 (SAE 90, GL – 4)	483,802	-1,198
TM-5-18 (SAE 90, GL – 5)	556,116	-0,744

Для тракторных коробок передач с фрикционными муфтами в исследованиях [7] предложен комплексный показатель напряженности работы трансмиссионного масла ( $H_k$ ):

$$H_k = \left( \sum_{w=1}^{w=m} \frac{F_w}{V_w} \cdot n_1 + \sum_{n=1}^{n=m_1} \frac{F_n}{V_n} \cdot n_2 \right) \cdot \alpha + \frac{F_\phi}{V_\phi} N \cdot \beta, \quad \text{Н/(ч·м}^3\text{)}, \quad (4)$$

где  $F_w, F_n, F_\phi$  – нагрузки, действующие в зубчатых передачах, подшипниках качения, фрикционной муфте;  $V_w, V_n, V_\phi$  – объемы масла, воспринимающие нагрузку в зубчатых передачах, подшипниках качения, фрикционной муфте;  $n_1, n_2$  – частота воздействия нагрузки в зубчатых передачах и подшипниках качения;  $\alpha$  – коэффициент неравномерности нагружения;  $m, m_1$  – число пар шестерен и подшипников качения, участвующих в передаче крутящего момента;  $N$  – среднестатистическое число включений фрикционных муфт;  $\beta$  – коэффициент продолжительности нагружения фрикционных муфт.

Исследования показали, что рациональным методом реализации бифункциональной роли масла в трансмиссиях с фрикционным переключением является углубленная очистка масла и добавление присадок на основе реметализантов. При этом уменьшается шероховатость рабочих поверхностей трения фрикционных дисков, увеличивается площадь их фактического контакта и снижается скорость абразивного изнашивания. Увеличение ФПК снижает удельные давления на масляный слой между фрикционными дисками и напряженность работы масла с сохранением фрикционного момента при переключении передач.

Изнашивание деталей и изменение эксплуатационных показателей масла зависят не только от содержания механических примесей (в первую очередь абразивных частиц), но и продолжительности работы трансмиссии в условиях той или иной абразивной загрязненности масла. В качестве показателя абразивной загрязненности целесообразно принять площадь диаграммы интегрального накопления абразивных частиц в масле  $S_\gamma$ , позволяющую сравнить условия смазывания деталей при разных режимах эксплуатации:

$$S_\gamma = \int_{\tau=0}^{\tau} \alpha \cdot \gamma_n \cdot d\tau, \quad (5)$$

где  $\tau$  – время работы трансмиссии;  $\alpha$  – доля абразивных частиц в общих механических примесях;  $\gamma_n$  – содержание общих механических примесей.

Изменение общих механических примесей в масле по времени характеризуется зависимостью

$$\gamma_n = \gamma_0 + \frac{\Delta V \cdot \gamma}{k \cdot V_y} \left( 1 - e^{\frac{-k \cdot V_y}{\delta \cdot V_m} \cdot f_0 \cdot e^{c\tau}} \right), \quad (6)$$

где  $\gamma_0$  – начальное содержание примесей в масле;  $\Delta V$  – поступление воздуха на единицу площади эквивалентного отверстия  $f$ , характеризующего герметичность корпуса трансмиссии;  $\gamma$  – запыленность окружающей среды;  $\delta$  – доля механических примесей, попадающих в масло;  $V_m$  – объем масла в смазочной системе;  $k$  – коэффициент утечек масла;  $V_y$  – утечки масла на единицу площади эквивалентного отверстия;  $c$  – степень изменения площади  $f$  в период эксплуатации.

Проведенные эксплуатационные испытания показали, что содержание механических примесей в масле и доля абразивных частиц определяются природно-климатическими условиями работы тракторных трансмиссий. Так, в средней полосе России условия эксплуатации характеризуются параметрами (в летних условиях): влажность воздуха 35...55%; температура масла в объеме 75...90°C; запыленность окружающего воздуха 0,063...1,52 г/м³; содержание механических примесей в масле 0,37...0,59%, а доля абразивных частиц в среднем составляет  $\alpha = 0,377$ . Наиболее агрессивными с точки зрения изнашивания деталей трансмиссии являются абразивные частицы размером 10...25 мкм. В республиках Средней Азии запыленность воздуха достигает 2,8...3,2 г/м³; температура масла в объеме 95...100°C; содержание механических примесей в масле 0,45...0,64%, при средней доле абразивных частиц  $\alpha = 0,532$ . В условиях тропического климата (Гвинея, Конакри) режим эксплуатации характеризуется повышением влажности в сезон дождей до 95...97%, а в сухой сезон температура масла в объеме достигает 95...110°C, запыленность воздуха повышается до 3,05...6,20 г/м³, содержание механических примесей в масле до 0,48...0,90% при  $\alpha = 0,571$ . Это оправдывает рекомендации некоторых фирм о снижении срока службы трансмиссионного масла в 1,25...1,5 раза при эксплуатации тракторов в тропических условиях.

Эффективными методами снижения интегрального накопления абразивных примесей в трансмиссионном масле являются модернизация уплотнений [3] и оборудование тракторной трансмиссии компенсатором герметичности (АС 2159885), снижающим тепловой и динамический теплообмен внутренних полостей корпуса трансмиссии с окружающей средой. Для современных сельскохозяйственных тракторов экспериментально установлено, что при рабочем объеме компенсатора  $V_k = (15...22) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  и приведенном диаметре эквивалентного отверстия  $d_{\text{эп}} = 0,117 \text{ мм}$  допустимое значение  $S_\gamma \leq 3,5^2 \cdot \frac{\text{ч}}{\text{м}^3}$  обеспечивает регламентируемый заводом изготовителем ресурс трансмиссии.

Важным трибологическим аспектом повышения технического уровня тракторных трансмиссий является проблема экологического воздействия утечек и утилизации отработанных масел на почву и окружающую среду. Эффективными и стимулирующими методами решения данной проблемы в настоящее время являются регенерация в условиях потребителя отработанных минеральных масел, оказывающих многолетнее отрицательное воздействие на плодородие почвы, с целью повторного использования в трансмиссиях и альтернативное применение растительных масел в смазочных и гидравлических системах сельскохозяйственной техники.

Разработанный технологический процесс восстановления отработанных минеральных масел (Патент РФ №2196810) и состав смазочной композиции на их основе с использованием комплекса присадок (ПМС – 200А, МАКСОИЛ – Д, А – 22 и ИХП 14М – МН) по данным исследований обеспечивали повторное использование смазочной композиции в агрегатах автомобильных трансмиссий со снижением до 15% скорости изнашивания шестерен и подшипников. Положительные результаты получены при исследовании возможности создания и альтернативного использования смазочной композиции на основе рапсового масла в смазочных системах тракторных трансмиссий и гидравлических системах тракторов и комбайнов. Предложенный состав смазочной композиции (Патент РФ №2235759) на основе рапсового масла и присадок (А – 22, ПМС – 200А, Литол – 24 и стеариновая кислота) при воздействии ультразвукового и магнитного излучения обладает идентичными в сравнении с минеральными трансмиссионными и гидравлическими маслами трибологическими свойствами. При отклонениях износных и физико-химических свойств на 7...11% смазочная композиция обеспечивала устойчивую работоспособность ресурсопределяющих сопряжений трансмиссий и гидронавесных систем при значительном снижении экологического загрязнения почвы, ввиду высокой биоразлагаемости растительного масла.

Таким образом, рассмотренная взаимосвязь параметров трибологических систем направлена на обоснование направлений исследования процессов трения и накопления экспериментальных данных для повышения технического уровня сельскохозяйственной техники.

#### Библиографический список

1. Крагельский, И.В. Трение и износ. – М. : Машиностроение, 1968. – 480 с.
2. Гаркунов, Д.Н. Триботехника (износ и безызносность). – М. : Изд-во МСХА, 2001. – 616 с.
3. Гаркунов, Д.Н. Триботехника (конструирование, изготовление и эксплуатация машин). – М. : Изд-во МСХ, 2002. – 632 с.
4. Чичинадзе, А.В. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун [и др.] ; под ред. А.В. Чичинадзе. – М. : Машиностроение, 2003. – 576 с.
5. Беркович, И.И. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения / И.И. Беркович, Д.Г. Громаковский ; под ред. Д.Г. Громаковского. – Самара : Сам ГТУ, 2000. – 268 с.
6. Лашхи, В.Л. Основная задача химмотологии / В.Л. Лашхи, Н.Н. Гришин // Химия и технология топлив и масел. – 2005. – №6. – С. 8-9.
7. Ленивец, Г.А. Рациональные методы использования масел в сельскохозяйственной технике / Г.А. Ленивец, В.Ф. Глазков [и др.]. – Самара : ССХИ, 1991. – 121 с.

Володько О.С. к.т.н., доцент; Приказчиков М.С. ст. преподаватель; Галенко И.Ю. ст. преподаватель

## МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ФАКТИЧЕСКОЙ ПЛОЩАДИ КОНТАКТА ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ

*Представлен анализ схемы оптимизации параметров трибологической системы с рассмотрением вариантов отрицательного и положительного градиентов твердости поверхностных слоев контактирующих деталей. Показано положительное влияние фосфатирования поверхностей трения на изменение градиента твердости и фактической площади контакта деталей.*

*The analysis of the tribological system parameters optimization picture is submitted with negative and positive gradients variants consideration of contacting details superficial layers hardness. Friction surfaces phosphorus positive influence on details contacting areas of hardness gradient changing.*

Важнейшей характеристикой деталей и узлов машины является ресурс их работы. Этот ресурс определяется в основном износостойкостью и выносливостью деталей при различных механических воздействиях, а именно свойствами материала, из которого они изготовлены, а так же состоянием их поверхностных слоев.

В традиционном представлении несущую способность ресурсопределяющих сопряжений связывают не только с прочностью самих деталей, но и с состоянием (прочностью, а также износостойкостью) их активных поверхностей. Нагруженные участки поверхностей при трении могут получать энергетические воздействия на уровне разрушения атомных связей, однако в реальных условиях разрушающая энергия значительно снижается благодаря диссипативным (рассеивающим) свойствам поверхностных структур. По мнению многих ученых [1, 2, 5] современные трибологические подходы к пониманию явлений, имеющих место при трении и изнашивании, связывают эти процессы с самоорганизацией диссипативных структур, изучаемых синергетикой и термодинамикой неравновесных процессов.

Широко распространенными способами повышения долговечности трибосопряжений являются упрочнение сформированных при изготовлении слоев поверхностей трения и применение металлоплакирующих смазок (присадок), обеспечивающих безызносное трение в результате самоорганизации в зоне фрикционного контакта за счет автоколебательных трибохимических реакций [1, 3].

В инженерной практике упрочнение поверхностного слоя определяют измерением твердости  $H$  или микротвердости. Для этого твердость определяют на поверхности металла и внутри металла (например, при помощи послойного травления). В результате устанавливают толщину упрочнения слоя ( $h_H$ ) и степень деформационного упрочнения ( $\delta_H$ ):

$$\delta_H = \frac{(H_{OBR} - H_{ИСХ})}{H_{ИСХ}}, \quad (1)$$

где  $H_{OBR}$  и  $H_{ИСХ}$  – соответственно твердость (микротвердость) металла после и до обработки.

В ходе эксплуатации верхний слой такой поверхности под влиянием трения и многократной пластической передоформации разупрочняется [4]. Переход от конструктивно рекомендуемой микротвердости ( $H'_P$ ) к  $H'_O$  (микротвердости основного металла детали) в данном случае осуществляется по закону снижения (рис. 1, а), т.е. с отрицательным градиентом твердости детали ( $\Gamma_T$ ) в направлении от поверхности трения, который по мере углубления в корпус детали ( $h$ ) и стабилизации микротвердости стремится к нулю.

Анализ распределения микротвердости при упрочнении поверхностного слоя деталей технологическими методами и в процессе эксплуатации выявляет, что обычно наибольшее ее значение ( $H'_P$  – конструктивно рекомендуемая микротвердость поверхностного слоя) наблюдается не на поверхности, а на глубине 10...20 мкм (рис. 1, а).

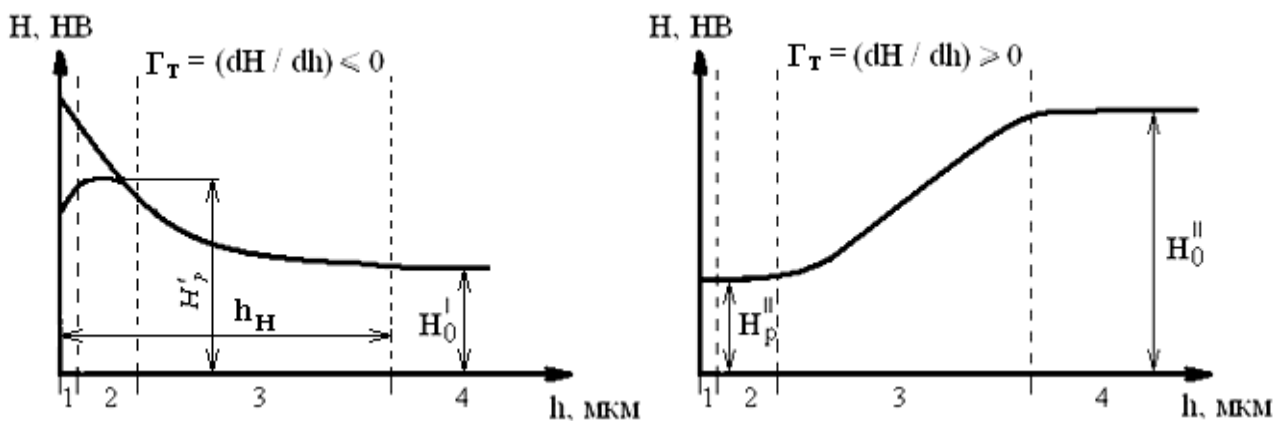


Рис. 1. Распределение микротвердости ( $H$ ) по глубине ( $h$ ) с отрицательным градиентом твердости (а) и структуры материала с положительным градиентом твердости (б):  
 $H_p$  – конструктивно рекомендуемая микротвердость поверхностного слоя;  $H_o$  – микротвердость основного металла; 1 – адсорбированная масляная пленка; 2 – сервоитная пленка; 3 – модифицированный диффузионный слой; 4 – основной металл

Упрочненный поверхностный слой сравнительно мал (50...300 мкм) и базируется на менее твердом основании (основной металл корпуса детали). Он подвержен воздействию многочисленных факторов, вызывающих его деформацию, как на макро, так и на микро уровнях. Например, в подшипниках качения, зубчатых передачах и других идентичных парах трения при вибрации, обусловленной прерывистым контактом сопряженных деталей, может возникать режим контактного резонанса, который, в свою очередь, значительно повышает интенсивность пластической деформации и накопления повреждаемости поверхностного слоя [2, 5].

В деталях с отрицательным градиентом твердости как положительный фактор может выступать высокая твердость поверхностного слоя, но при этом нельзя не отметить снижение жесткости детали в процессе эксплуатации за счет прогрессирующей внутренней вибрации при циклическом нагружении с деформацией поверхностного слоя и накопление энергии активации разрушения как деформируемого слоя основного металла, так и хрупкой оксидной пленки. В аспекте создания условий избирательного переноса и безысходных режимов работы узлов трения современная оценка процессов трения (смазывания) и изнашивания, с точки зрения трибологии, не отрицает и обосновывает применение деталей с положительным градиентом твердости (рис. 1, б).

В данном случае:

$$H_o'' > H_p'; \quad H_p'' < H_p'; \quad \Gamma_T = (dH/dh) > 0. \quad (2)$$

При этом облегчается процесс модификации деформированного при механической обработке слоя 3, путем диффузии мягких металлов ( $D_c$ ), обеспечивающих формирование сервоитной пленки 2 (СП). Режим избирательного переноса может быть активирован наличием реметализантов и поверхностно активных веществ (ПАВ) в смазочном слое 1.

Повышение твердости основного металла ( $H_o''$ ) направленно на увеличение жесткости детали при соответствующем снижении вибрации и ее отрицательного влияния на процессы трения и изнашивания.

Анализ взаимосвязи параметров при определенных условиях и режимах трения выступает в пользу деталей с положительным градиентом твердости. Так при снижении твердости поверхностного слоя коэффициент трения ( $f_{TP}$ ) в условиях пластического контакта увеличивается, но при этом облегчается формирование поверхности трения с большей фактической площадью контакта и меньшей удельной силой трения, что повышает ее несущую способность.

Динамическое воздействие на смазочный слой, как третий элемент трибологической системы контакта деталей, также является сложным процессом. Так при вибрации в зависимости от частоты воздействия изменяется собственная упругость смазочного слоя, демпфируя и рассеивая механическую энергию. Динамическое воздействие совместно с температурными изменениями в



смазочном слое дополнительно увеличивают внутренне трение с соответствующим повышением вязкости и нагрузочной способности смазочного слоя, что в свою очередь ускоряет термомеханическую деструкцию масла и снижает его эксплуатационный ресурс [2].

Трибологическая система контакта деталей с положительным градиентом твердости, схема оптимизации которой представлена на рисунке 2, характеризуется рядом особенностей входных и выходных параметров. Опыт оптимизации трибологических систем [6] позволяет проанализировать взаимосвязь данных параметров с целью их оптимизации и определения функциональной зависимости трибологических показателей от режимов трения при определенной системе ограничений (регламентированный срок службы сопряжения ( $T_p$ ), расчетная прочность материала ( $\sigma_{II}$ ) и экономические затраты ( $\Sigma$ ) на конструктивное ( $3_k$ ), технологическое ( $3_T$ ) и эксплуатационное ( $3_{\Sigma}$ ) обеспечение оптимальных режимов трения).

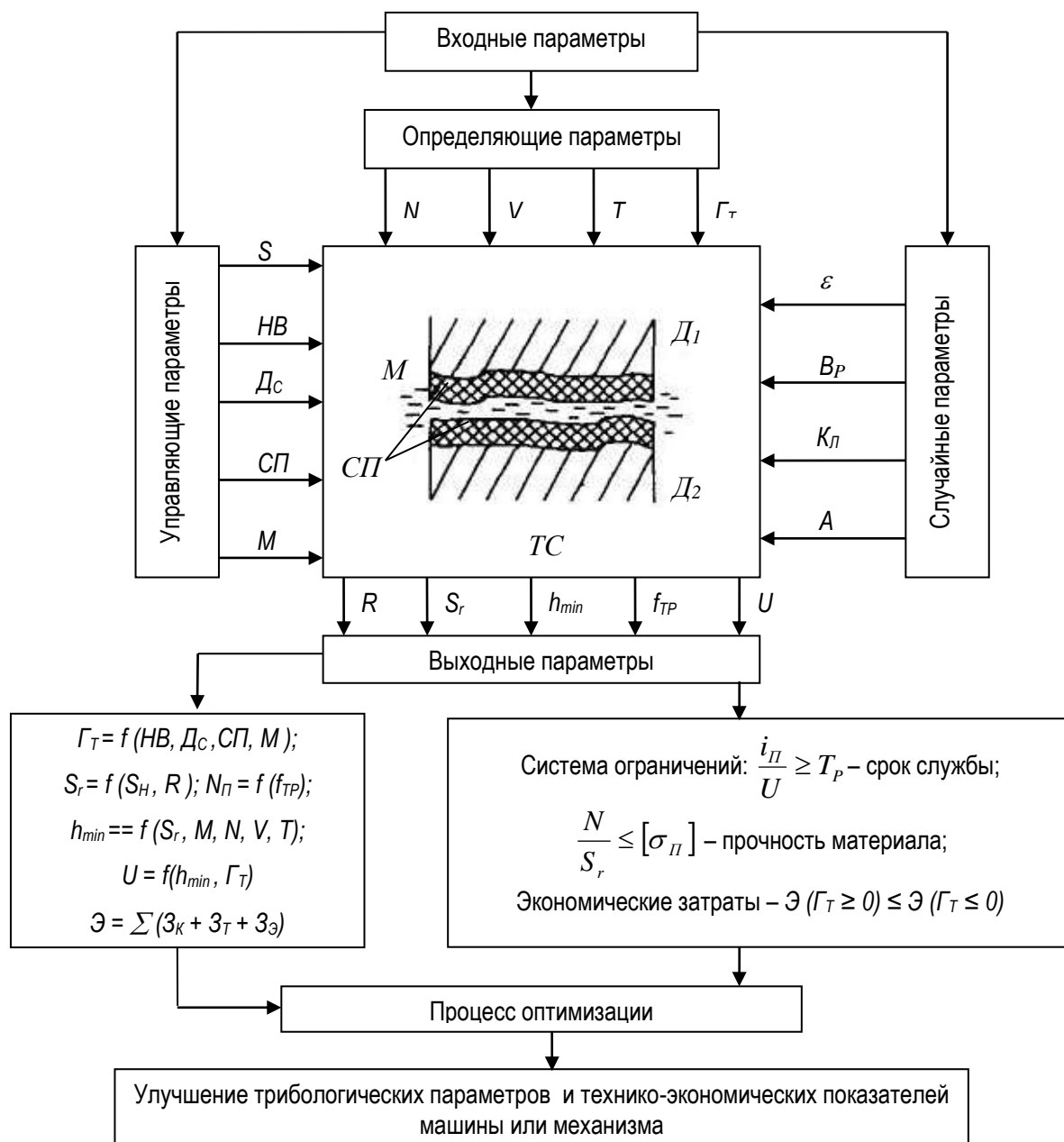


Рис. 2. Схема оптимизации трибологической системы (ТС):

$D_1$  и  $D_2$  – контактирующие детали;  $M$  – масляный слой;  $N$ ,  $V$ ,  $T$  – нагрузка, скорость и температура в контакте;  $S_H$  – номинальная площадь контакта;  $\varepsilon$  – колебания нагрузочно-скоростного и температурного режимов работы;  $B_p$  – вибрация в контакте;  $A$  – абразивная агрессивность окружающей среды;  $R$  – шероховатость поверхности трения;  $h_{min}$  – толщина смазочного слоя;  $U$  – скорость изнашивания поверхности трения;  $i_{II}$  – предельный износ

В лаборатории УНИЛ ПНЭМС Самарской ГСХА проведены исследования трибосопряжения с отрицательным градиентом твердости с выше перечисленными способами влияния на увеличение износостойкости ресурсопределяющих деталей по программе многофакторного эксперимента, целью которого явилось определение влияния концентрации присадки Феном в масле ТМ-3-18, нагрузки и температурного режима на скорость изнашивания фосфатного покрытия на стали ШХ-15.

Исследования проводились на двух нагрузочных (3000 Н и 5000 Н) и четырех температурных режимах: без нагрева (18...20°C), с предварительным нагревом масла и образцов до температур 40, 60 и 80°C. Концентрация присадки Феном в масле ТМ-3-18 составляла 0; 2,5; 5; 7,5; 10; 20; 30; 40 мл/л.

Испытания проводили на роликовой машине трения 2070 СМТ-1 по схеме «диск-диск», без проскальзывания. В качестве образцов использовались ролики диаметром 50 мм из стали ШХ-15. Смазка образцов осуществлялась погружением нижнего ролика в масляную ванну объемом 120 см<sup>3</sup> на глубину 2–3 мм. Нагрев и поддержание заданной температуры масляной ванны осуществлялись электрическим нагревателем специальной конструкции, контроль температуры проводили с помощью термопары прибором УТ-2.0.

Для обеспечения равномерного контакта пары образцов предварительно прирабатывались в течение 1,5 ч (ТМ-3-18 + 1% масс абразива с удельной площадью поверхности  $S = 11200 \text{ см}^2/\text{г}$ ; нагрузка – 4000 Н; частота вращения  $n = 440 \text{ мин}^{-1}$ ). Затем осуществляли фосфатирование образцов согласно разработанным ранее рекомендациям при температуре 80...90°C в течение 40 мин. После промывки выдерживали образцы в сушильном шкафу и проводили взвешивание на весах ВЛР-200.

Перед новым циклом фосфатирования проводили удаление старого покрытия, прирабатывая образцы в течение 10 мин (ТМ-3-18 + 1% масс абразива с  $S = 11200 \text{ см}^2/\text{г}$ ; нагрузка – 4000 Н;  $n = 440 \text{ мин}^{-1}$ ). Результаты исследований приведены в таблице 1.

Полученные данные обрабатывались на ПЭВМ с использованием программ Microsoft Excel, Statistica v.5.5.A и MathCAD 2001. В результате получены уравнения регрессии (3), характеризующие зависимость износа ( $i$ , мг) фосфатного покрытия от температуры ( $t$ , °C), нагрузки ( $q$ , Н) и концентрации присадки Феном ( $k$ , мл/л) в масле ТМ-3-18, а также на базовом масле без присадки (4)

$$i = 23,419 - 2,785k - 0,545t - 0,00145q + 0,02k \cdot t + 0,0002k \cdot q + 0,000004t \cdot q + 0,11175k^2 + 0,00616t^2; \quad (3)$$

$$G = 19,873 - 0,289t - 0,00135q + 0,00003t \cdot q + 0,00331t^2. \quad (4)$$

Таблица 1

Износ фосфатного покрытия на стали ШХ-15 в паре трения «диск-диск» в зависимости от концентрации присадки Феном в масле ТМ-3-18, нагрузки и температуры

Концентрация присадки, мл/л	Температура, град.							
	18-20		40		60		80	
	Износ образца, мг		Износ образца, мг		Износ образца, мг		Износ образца, мг	
	3000 Н	5000 Н	3000 Н	5000 Н	3000 Н	5000 Н	3000 Н	5000 Н
0	13,29	10,75	13	13,92	14,63	15,46	21,17	22,4
2,5	7,875	8,1	10,5	11,08	13,6	16,05	21,42	21,975
5	7,14	8,25	6,75	10,375	12,38	18,4	21,35	22,43
7,5	5,875	8,5	7,25	9,18	14,75	20,16	21,75	22,875
10	6,41	8,625	9,75	13,625	17,38	22,25	22,5	23,175
20	6,81	9,375	11,23	15,21	20,25	22,93	22,7	23,15
30	7,85	14,125	13,7	-	-	-	-	-
40	11,4	-	-	-	-	-	-	-

Изменение величины износа фосфатного покрытия  $E$ , обусловленное введением присадки, определится по выражению:

$$E = i - G. \quad (5)$$

Подставив выражения (3) и (4) в выражение (5) получим:

$$E = 3,546 - 2,785k - 0,256t - 0,0001q + 0,02kt + 0,0002kq + 10^{-5}tq + 0,11175k^2 + 0,00285t^2. \quad (6)$$

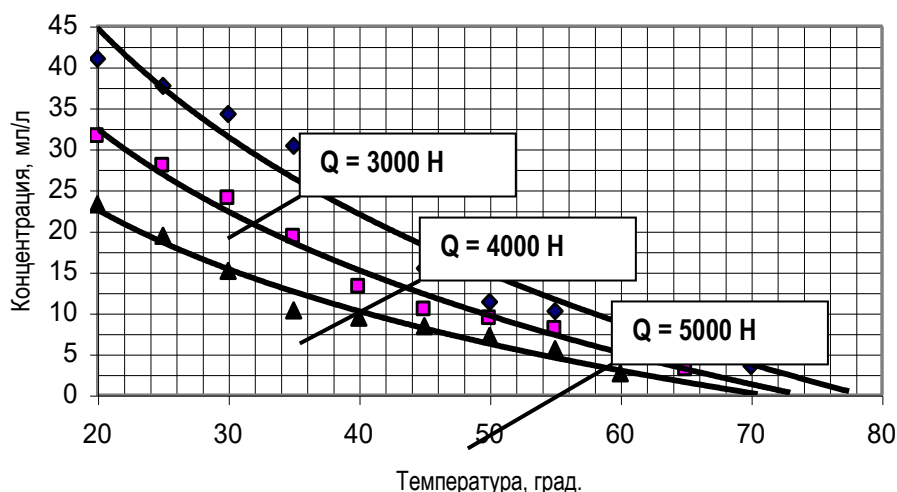
Заметный эффект от введения присадки наблюдается в интервале температур 20-60°C. Значения оптимальных концентраций присадки, при которых достигается минимальный износ, находятся в пределах 2,5...8,1 мл/л. При температуре выше 40°C увеличение температуры и нагрузки приводит к увеличению износа. Влияние температуры на износ покрытия более выражено, что связано, по-видимому, с термической активизацией ПАВ присадки и масла.

Нагрузочный режим оказывает существенное влияние на величину износа фосфатного покрытия при наличии присадки, что особенно проявляется при концентрациях выше 20 мл/л, а также близких к оптимальным значениям. Это можно объяснить активизацией компонентов присадки под действием контактной нагрузки. При повышении температуры влияние концентрации присадки на износ фосфатного покрытия становится менее выраженным.

С повышением температуры до 80°C износ основного слоя фосфатного покрытия значительно возрастает (что также связано с повышением моющего действия масла вследствие термической активизации ПАВ). В этом случае износ фосфатного покрытия находится в пределах 22,1...23,43 мг, изменение концентрации присадки и нагрузки существенного влияния на износ не оказывают.

Условие эффективного применения присадки при наличии фосфатного покрытия примет вид  $E \leq 0$ , т.к. при  $E > 0$  износ фосфатного покрытия превышает износ на базовом масле при тех же условиях, и будет иметь место снижение положительного эффекта от наличия фосфатного покрытия.

Значение предельной концентрации присадки можно определить из выражения (6), при условии  $E = 0$ . Для графического определения предельной концентрации присадки разработана номограмма (рис. 3). Расчетные значения аппроксимированы логарифмическими кривыми,



выполнена экстраполяция до пересечения с осью абсцисс.

Для определения оптимальной концентрации присадки  $K_{опт}$ , при которой износ фосфатного покрытия наименьший для данных условий трения, были определены локальные экстремумы (минимумы) функции (6) в заданном интервале нагрузок и

температур.

Математическая зависимость (6) учитывает взаимосвязь факторов в пределах температурного интервала 20...60°C. При температуре

Рис. 3. Номограмма для определения предельной концентрации присадки Феном в масле ТМ-3-18 при наличии на рабочих поверхностях фосфатного покрытия

80°C, введение присадки не оказывает влияния на снижение износа, даже при минимальной нагрузке. Таким образом,

значения оптимальной концентрации равны нулю в интервале температур 60...80°C, причем их значения будут меньше с увеличением нагрузки. Приняв, что  $K_{опт} = 0$  для нагрузки 3000 Н и температуры 80°C, проведена экстраполяция для кривых, характеризующих уровни нагрузки

4000 и 5000 Н. В результате разработана номограмма для определения оптимальной концентрации присадки (рис. 4), при которой износ фосфатного покрытия наименьший в заданном интервале нагрузок и температур.

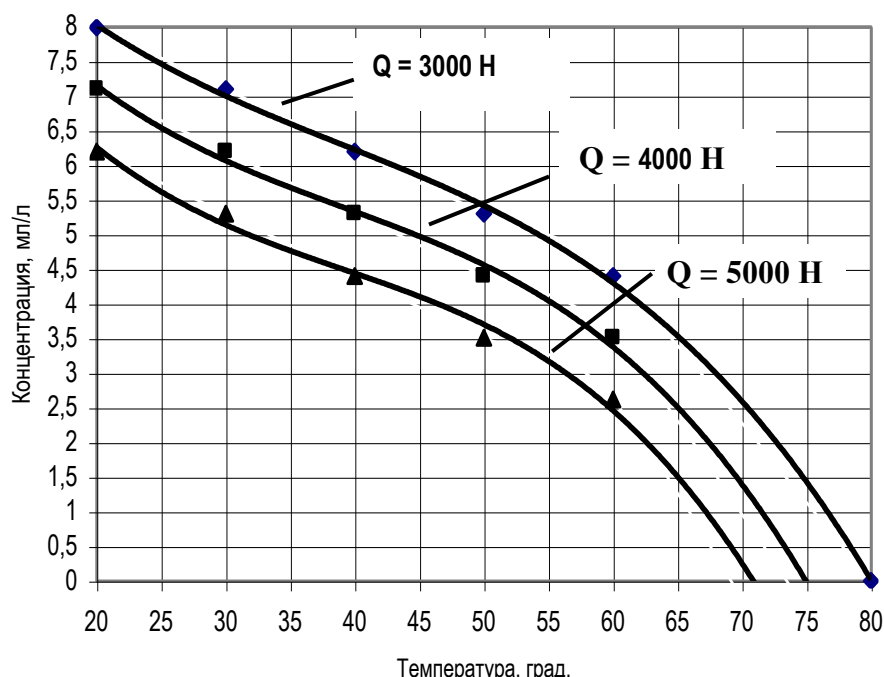


Рис. 4. Номограмма для определения оптимальной концентрации присадки Феном в масле ТМ-3-18 при наличии на рабочих поверхностях фосфатного покрытия

Таким образом, получено обоснование значений оптимальной концентрации присадки Феном в масле ТМ-3-18 для фосфатированных подшипников качения в период приработки при заданных нагрузочно-температурных режимах работы.

Аналогичный подход может быть использован для других триботехнических систем (различные покрытия, смазка, условия трения и т.п.) при условии эмпирического определения коэффициентов уравнений (3) и (4).

С целью проверки результатов лабораторных исследований и рабочей гипотезы о повышении качества приработки трибосопряжений с положительным градиентом твердости проведены испытания опорных катков трактора Т-4А на стенде.

Для исследований собраны опорные катки: по стандартной технологии – установлены не фосфатированные подшипники, катки, заправленные маслом ТМ-3-18; и по предлагаемым рекомендациям – установлены фосфатированные подшипники, катки, заправленные маслом ТМ-3-18 с добавлением присадки Феном в концентрации 5 мл/л. Выбор концентрации присадки осуществляли на основании номограммы (рис. 4) исходя из условий: расчетная нагрузка 4000 Н [7], установившаяся рабочая температура катков 42...48°C (при температуре окружающей среды 16...18°C, замеры проводились инфракрасным пирометром).

При выборе режимов испытания были приняты нагрузка и частота вращения, соответствующие эксплуатационным. Продолжительность испытаний составляла 80 ч.

В процессе испытаний осуществляли отбор проб смазки и определяли количество металла в смазке с помощью фотоколориметра КФК-2МП.

В результате обработки данных получены уравнения регрессии, характеризующие динамику накопления железа в смазке опорных катков в период испытаний.

Анализ полученных зависимостей показывает, что среднее время окончания приработки подшипников катков собранных по стандартной технологии составляет 52 ч, а для подшипников катков собранных по предлагаемым рекомендациям – около 37 ч. Снижение времени приработки фосфатированных подшипников качения, работающих на смазочной композиции, по сравнению с не фосфатированными, работающими на штатном масле, составляет 28,85%.

По окончании испытаний подшипники демонтировали и методом искусственных баз проводили замеры износа наружных колец. Снижение износа наружных колец фосфатированных подшипников качения, работающих на смазочной композиции, по сравнению с не фосфатированными, работающими на штатном масле, составляет 26,9%.

Результаты контроля шероховатости и микротвердости показывают, что шероховатость рабочих поверхностей колец фосфатированных подшипников на 1...2 класса выше, а

микротвердость рабочих поверхностей роликов на 5,1% выше, чем у не фосфатированных подшипников, приработанных на штатном масле.

Полученные данные в целом подтверждают рабочую гипотезу о том, что для трибосопряжений с положительным градиентом твердости (на примере фосфатированных подшипников качения) оптимизация трибологической системы (на примере определения оптимальной концентрации присадки при заданном нагрузочно-температурном режиме) позволяет значительно сократить время приработки, способствует формированию более высокого качества рабочих поверхностей и снижению их износа.

#### Библиографический список

1. Гаркунов, Д.Н. Триботехника (износ и безызносность) : учебник. – М. : Изд-во МСХА, 2001. – 616 с.
2. Беркович, И.И. Трибология (физические основы, механика и технологические приложения) : учебник для вузов / И.И. Беркович, Д.Г. Громаковский ; Самарский ГТУ. – Самара, 2000. – 268 с.
3. Кужаров, А.С. Координационная трибохимия избирательного переноса : дис. ... д-ра техн. наук. – Ростов на Дону, 1991. – 282 с.
4. Повышение эксплуатационной надежности тракторных ходовых систем и агрегатов трансмиссий : отчет о НИР / СГСХА ; рук. Ленивцев Г.А. ; исполн. : Володько О.С. [и др.]. – Кинель, 2003. – 58 с. : № ГР 01.980001759.
5. Гаркунов, Д.Н. Триботехника (конструирование, изготовление и эксплуатация машин) : учебник. – М. : Изд-во МСХА, 2002. – 632 с.
6. Суркин, В.И. Смазка пар трения двигателей: монография / В.И. Суркин, Б.В. Курчатов. – Челябинск : ЧГАУ, 1999. – 224 с.
7. Глазков, В.Ф. Обоснование условий моделирования трибологических процессов в подшипниковых узлах тракторных ходовых систем / В.Ф. Глазков, И.Ю. Галенко // Совершенствование машиноиспользования и технологических процессов в АПК : сб. науч. тр. Поволжской межвузовской научной конференции. – Самара, 2002. – С.14-17.

УДК 621.892.3

Болдашев Г.И. к.т.н., доцент; Володько О.С. к.т.н., доцент; Быченин А.П. аспирант

### **ВЛИЯНИЕ РАПСОВОГО МАСЛА В СМЕСЕВОМ ТОПЛИВЕ НА РЕЖИМ СМАЗЫВАНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПАР ДИЗЕЛЬНОЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ**

*В статье рассмотрено влияние рапсового масла в смешанном топливе на режим смазывания прецизионных пар дизельной топливной аппаратуры, приведены теоретические предпосылки, объясняющие снижение износа сопряжений при изменении условий смазывания, приведены результаты измерения коэффициента трения, а так же результаты износных испытаний на машине трения 2070 CMT-1.*

*In article the rape oil in mixed fuel influence on a lubrication mode of diesel fuel equipment precision pairs is considered, the theoretical preconditions explaining the of decrease deterioration of interfaces at conditions change of lubrication, results of friction factor measurement, and the of friction 2070 CMT-1 wearing tests results by the machine are resulted.*

Одной из актуальных проблем современности является снижение трения в тяжело нагруженных сопряжениях техники, в частности в двигателях внутреннего сгорания. Значительное количество тракторов и автомобилей оборудовано дизельными двигателями. Нормальное функционирование данных двигателей в большой степени зависит от топливной аппаратуры и применяемого топлива. Наиболее часто выходят из строя детали прецизионных пар: плунжер и втулка плунжера, игла распылителя и корпус распылителя, нагнетательный клапан и седло нагнетательного клапана. Их ресурс напрямую зависит от условий смазывания.

Целью исследования является выявление влияния состава смесового минерально-растительного топлива на режим смазывания прецизионных пар дизельной топливной аппаратуры и на ресурс топливоподающей системы.

Анализ литературных источников позволяет выделить ведущий вид износа прецизионных пар дизельной топливной аппаратуры. Так, Ташпулатов М.М. [1], Антипов В.В. [2] считают, что наиболее типичным и интенсивным видом разрушения, определяющим ресурс плунжерной пары, является абразивный. При этом указанные авторы считают, что наибольшая доля износа приходится на действие, производимое абразивными частицами, попадающими в зазор между прецизионными деталями, размер которых несколько больше величины зазора. Остальные виды износа распределяются следующим образом: с задирами и схватыванием – 8%; с кавитацией и эрозией – 6%; с разрушением кромок, коррозией и другими видами износа – 2%.

Снижению абразивного износа прецизионных деталей способствует улучшение условий смазывания, например, добавление в состав смесового топлива рапсового масла. Наиболее значимым трибологическим показателем смазочной среды является коэффициент трения в сопряжении.

С целью определения влияния рапсового масла на трибологические свойства смесового топлива была проведена серия лабораторных опытов по определению коэффициента трения в паре сталь-сталь с чистотой обработки поверхности, соответствующей 10 классу, в присутствии абразива.

Согласно механической теории трения

$$F = f \cdot N + A,$$

где  $F$  – сила трения скольжения, Н;  $N$  – нагрузка, Н;  $f$  – коэффициент трения;  $A$  – сила межмолекулярного притяжения (адгезионная составляющая силы трения), Н.

Величина  $A$  значительна при сухом трении, когда в точках фактического контакта под воздействием адгезионных сил образуются мостики сварки, на разрушение которых расходуется энергия.

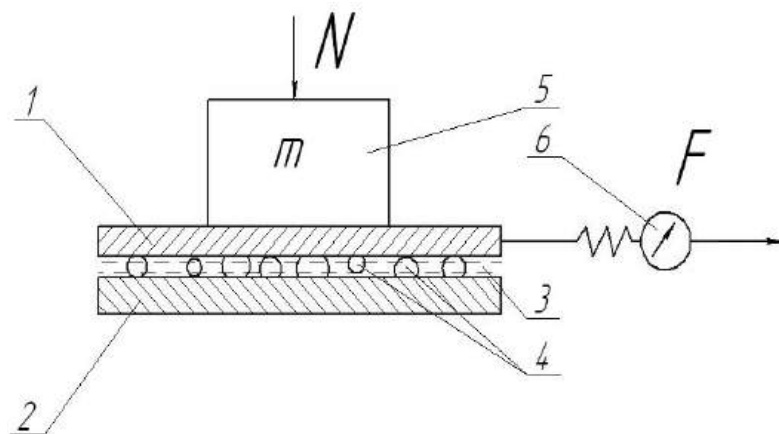


Рис. 1. Схема лабораторной установки для определения коэффициента трения (механическая теория трения, формула Амонтона - Кулона): 1, 2 – пластины стальные; 3 – смазывающий слой топлива; 4 – абразив; 5 – груз; 6 – динамометр;  $N$  – нагрузка, Н;  $F$  – сила трения, Н

В лабораторном исследовании учесть адгезионную составляющую не представляется возможным в связи с ее незначительной величиной. Поэтому можно считать, что при постоянстве величины  $N$  сила трения будет изменяться только при изменении коэффициента трения. Из данного опыта представляется возможным его вычисление. На рисунке 1 представлена схема лабораторной установки.

На рисунке 2 представлены зависимости коэффициента трения от концентрации рапсового масла в смесовом минерально-растительном топливе и при различном содержании абразивных частиц в топливе в сопряжении сталь-сталь. Как видно из графиков, введение рапсового масла в состав смесового топлива снижает коэффициент трения. Данный эффект наблюдается также при добавлении в топливо абразивных примесей.

Выявлено влияние концентрации рапсового масла в смесовом топливе на его смазывающую способность на роликовой машине трения 2070 СМТ-1. Испытания проводились по схеме «колодка-ролик», когда в сопряжении реализовывалось трение скольжения, при одинаковой длительности испытаний, постоянной нагрузке и при постоянном значении частоты вращения вала машины трения. Изменяемым параметром является состав смесового минерально-растительного топлива.

На рисунке 3 представлен график изменения величины суммарного износа колодки и ролика в процентах от первоначальной массы в зависимости от концентрации рапсового масла.

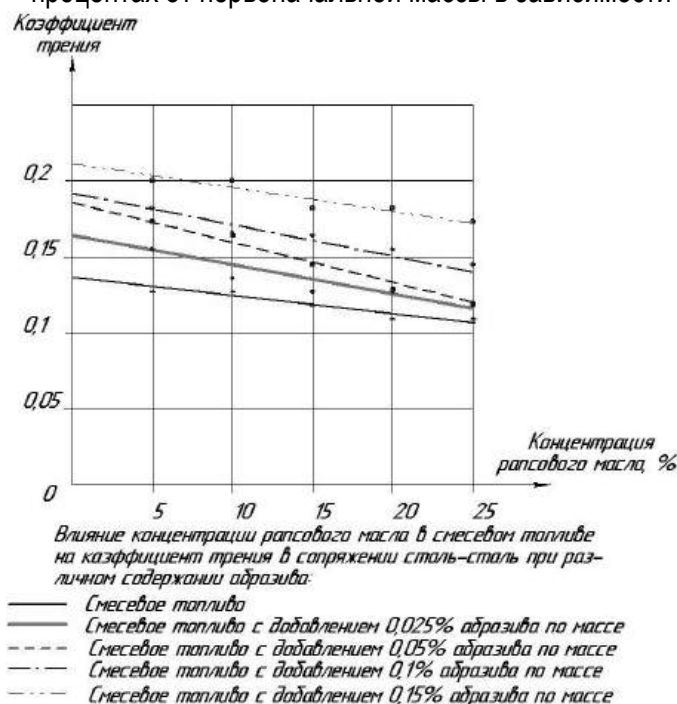


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения в сопряжении сталь-сталь от состава смазочной среды и количества абразивных примесей

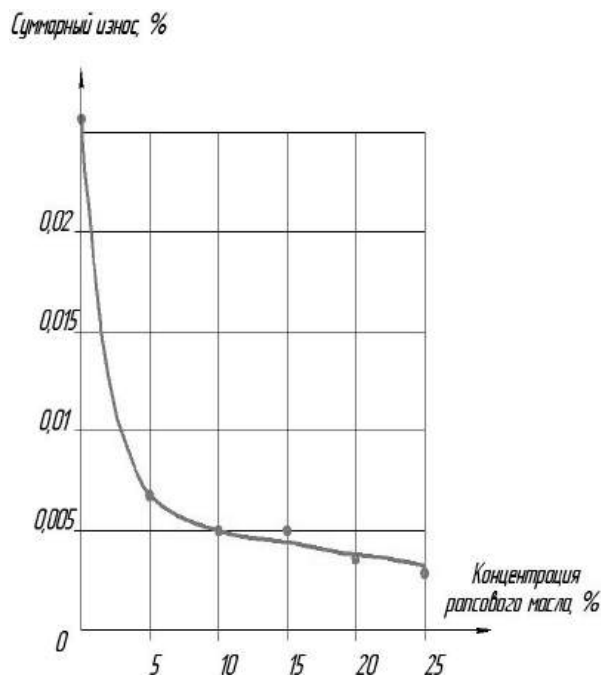


Рис. 3. Влияние концентрации рапсового масла в смеси топлива на величину суммарного износа сопряжения

Полученные результаты позволяют утверждать, что рапсовое масло в составе смеси топлива значительно улучшает его трибологические свойства.

Данное явление можно объяснить наличием в составе рапсового масла органических поверхностно-активных веществ. В таблице 1 приведен химический состав рапсового масла [3].

Таблица 1

Жирно-кислотный состав рапсового масла

Кислота	Содержание в рапсовом масле, %
Миристиновая (0)	0,5
Пальмитиновая (0)	2
Стеариновая (0)	1
Арахидовая (0)	0,5
Бегеновая (0)	1
Лигноцериновая (0)	1
Пальмитоловая (1)	следы
Олеиновая (1)	15
Гадолеиновая (1)	7
Эруковая (1)	50
Линолевая (2)	15
Линоленовая (3)	7
Температура плавления, °C	-9

Поверхностно-активные вещества способны образовывать на поверхности трения защитную пленку из пространственно-ориентированных молекул, что снижает количество точек непосредственного контакта металлов и снижает коэффициент трения. В результате снижается износ сопряжения. Пленка ПАВ служит также демпфером, снижающим воздействие абразивной



частицы на поверхность тела. Прочность пленки при этом в тангенциальном направлении гораздо меньше прочности при радиальных нагрузках.

Из теории пластического контакта [4] известна формула  $f = f_{адг} + 0,4 \left( \frac{h_{кин}}{R} \right)^{1/2}$ , где  $f_{адг}$  – адгезионная составляющая коэффициента трения, которая зависит от прочности поверхностной пленки на срез,  $0,4 \left( \frac{h_{кин}}{R} \right)^{1/2}$  – деформационная составляющая коэффициента трения, зависящая от величины неровности или абразивной частицы, и глубины ее внедрения в сопряженную поверхность.

Следовательно, образовавшаяся на поверхности трения пленка из поверхностно-активных веществ оказывает комплексное воздействие на абразивную частицу или неровность, снижая как адгезионную составляющую коэффициента трения, так и деформационную (рис. 4).

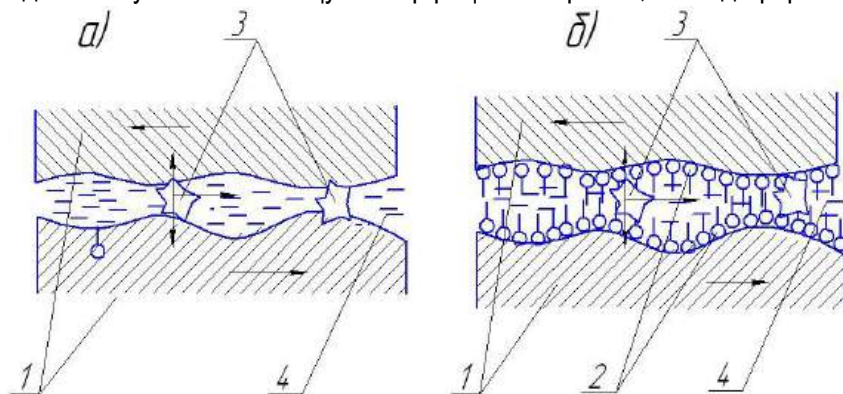


Рис. 4. Зона контакта сопряженных поверхностей:

а) при смазывании товарным дизельным топливом; б) при смазывании смесевым минерально-растительным топливом; 1 – сопрягаемые детали; 2 – пленка из поверхностно-активных веществ; 3 – абразивные частицы; 4 – смазочная среда (топливо)

В реальной прецизионной паре оценить величину каждой составляющей коэффициента трения не представляется возможным. Для приближенного расчета предлагается следующая формула:  $f = X \cdot f_0$ , где  $f$  – коэффициент трения в сопряжении при смазывании смесевым минерально-растительным топливом,  $f_0$  – коэффициент трения в сопряжении при смазывании товарным дизельным топливом,  $X$  – коэффициент

пропорциональности, характеризующий состав смесового топлива и количество абразивных примесей.

Коэффициент  $X$  определяется экспериментально для каждого состава смесового топлива и в зависимости от концентрации абразива в нем.

Результаты испытаний на роликовой машине трения 2070 СМТ-1 показали, что суммарный износ сопряжения уменьшился в 4 раза при введении в состав смесового топлива 5% рапсового масла по объему. Коэффициент трения в сопряжении при внесении 25% по объему рапсового масла уменьшился на 10...20%. Полученные результаты позволяют прогнозировать режим смазывания прецизионных пар в зависимости от свойств смазочной среды и подбирать оптимальный состав смесового минерально-растительного топлива с точки зрения сохранения ресурса дизельной топливной аппаратуры.

#### Библиографический список

1. Ташпулатов, М.М. Обеспечение работоспособности топливоподающей аппаратуры дизелей. – Ташкент : Фан, 1990. – 128 с.
2. Антипов, В.В. Износ прецизионных деталей и нарушение характеристики топливной аппаратуры дизелей. – М. : Машиностроение, 1972. – 177 с.
3. Кулиев, Р.Ш. Физико-химические свойства некоторых растительных масел // Химия и технология топлив и масел / Ф.Р. Ширинов, Ф.А. Кулиев. – 1999. – №4. – С. 36-38.
4. Михин, Н.М. Трение в условиях пластического контакта. – М. : Наука, 1968. – 104 с.



## УЛУЧШЕНИЕ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ПРИРАБОТКИ, ПУТЁМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОВЕРХНОСТНО АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

*В статье представлены результаты лабораторных исследований по определению степени влияния поверхностно активных веществ, содержащихся в присадках, на качество приработки. Приведены данные по изменению шероховатости и физико-механических свойств поверхностей трения.*

*In article the results of laboratory researches superficially active substances contained in additives influence degree on definition, for using quality are submitted. The friction surfaces properties of roughnesses and physicommechanical changes data is given.*

Поверхностно-активные вещества, входящие в состав прирабочных присадок, способствуют интенсификации процесса приработки трущихся поверхностей деталей за счет эффекта адсорбционного понижения прочности материалов [2].

В качестве ПАВ наиболее часто применяют олеиновую, стеариновую и рициоловую кислоты, эфиры органических кислот, глицерин и др. Действие ПАВ ухудшается при высоких температурах, что может вызвать снижение противозадирных свойств. Как правило, ПАВ используют в составе комплексных присадок.

Исследования, проведенные на кафедре «Надёжность и ремонт машин», по определению влияния присадок различных типов на трибологические характеристики смазочных композиций и физико-механические свойства поверхностей трения позволили установить, что лучшими показателями обладает присадка «Fenom», содержащая в своём составе поверхностно активные вещества (ПАВ).

Происходящие под действием компонентов, входящих в состав присадки, процессы приводят при определенных значениях концентрации к наилучшему сочетанию трибологических характеристик и минимальному износу.

Осмотр и исследование поверхностей образцов после испытаний на машине трения 2070 СМТ-1 позволили установить, что поверхность трения колодки и ролика при смазывании моторным маслом и маслом с добавлением присадки отличаются площадью контакта и шероховатостью поверхности.

Шероховатость образцов после работы в масле М10-Г2К составила  $R_a = 1,2$  мкм, а при работе в смазочной композиции с присадкой «Fenom» –  $R_a = 0,8$  мкм.

Улучшение качества поверхности образцов, работавших в смазочной композиции, включающей присадку «Fenom», очевидно происходит в результате действия эффекта П.А. Ребиндера. В условиях одновременного действия напряжённого состояния, способствующего развитию дефектов кристаллического строения, и наличия физически адсорбирующих поверхностно активных веществ происходит адсорбционное пластифицирование – облегчение пластических деформаций и адсорбционное понижение прочности. Конечным результатом может оказаться значительное упрочнение поверхностных слоёв, вследствие значительно большей, чем в отсутствие ПАВ, пластической деформации [2].

Ряд исследователей [3] теоретически обосновывает действие адсорбционно-активных сред, рассматривая пластическое течение кристаллов как процесс зарождения и перемещения дислокаций в плоскостях скольжения и выхода их на поверхность. Рассматривая мозаичную структуру кристаллов как следствие возникновения дислокационных стенок высокой плотности можно предположить, что повышение плотности дислокаций в поверхностных слоях при деформации в условиях воздействия адсорбционно-активных сред должно вызвать более интенсивное измельчение кристаллов и блоков [2].

С целью более глубокого изучения процессов, обуславливающих повышение износостойкости, были проведены дополнительные рентгенографические исследования поверхностей трения.

Проведённый рентгенографический анализ по определению параметров тонкой кристаллической решетки показал, что размер областей когерентного рассеяния (размер блоков зёрен мозаики) в поверхностных слоях образцов за период проведения эксперимента уменьшается (рис. 1).

Это свидетельствует об измельчении блоков (субзёрен), увеличении плотности дислокаций и других несовершенств, что приводит к увеличению прочности поверхностных слоёв (рис. 2).

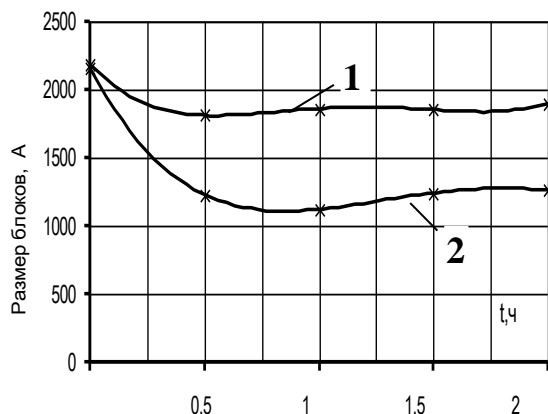


Рис. 1. Изменение размеров блоков за время эксперимента:

- 1 – образцы, работавшие в масле М10-Г2К;  
2 – образцы, работавшие в смазочной композиции с присадкой «Fenom»

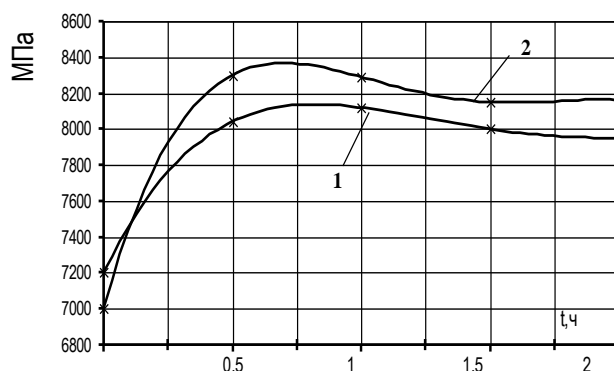


Рис. 2. Изменение микротвёрдости образцов за время эксперимента:

- 1 – образцы, работавшие в масле М10-Г2К;  
2 – образцы, работавшие в смазочной композиции с присадкой «Fenom»

Повышение прочности с возрастанием плотности дислокаций объясняется тем, что при этом возникают не только параллельные друг другу дислокации, но и дислокации в различных плоскостях и направлениях. Такие дислокации будут мешать друг другу перемещаться, и реальная прочность металла повысится.

Измерение микротвёрдости образцов после работы в смазочной композиции с присадкой «Fenom» показало относительное увеличение микротвёрдости на 15,7%. У образцов, работавших в масле М10-Г2К, увеличение микротвёрдости составило 9,4%.

Таким образом, использование присадок с ПАВ позволяет снижать шероховатость и улучшать физико-механические свойства поверхностей трения по сравнению с моторным маслом, что при использовании их в различных машинах и агрегатах позволит повысить долговечность деталей и увеличить ресурс машины в целом.

#### Библиографический список

1. Гаркунов, Д.Н. Триботехника. – М. : Машиностроение, 2000. – 327 с.
2. Костецкий, Б.И. Механо-химические процессы при граничном трении. – М. : Наука, 1972. – 170 с.
3. Щукин, Е.Д. Образование новых поверхностей при разрушении твёрдого тела в поверхностно активной среде / Е.Д. Щукин, П.А. Ребиндер. – М. : АН СССР, 1958. – 128 с.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СМЕСЕВОГО СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ РАПСОВОГО МАСЛА ДЛЯ АГРЕГАТОВ ТРАКТОРНЫХ ТРАНСМИССИЙ

*В статье приводятся результаты экспериментальных исследований улучшения триботехнических свойств смешанного смазочного материала на основе рапсового масла легированного присадками.*

*In the article the experimental researches of mixed lubricant compositions on the basis of a rape oil doped by dopants tribology properties improvement is given.*

Одним из перспективных путей снижения влияния абразивного изнашивания на долговечность агрегатов трансмиссий сельскохозяйственных тракторов является легирование смазочного материала присадками: металлоплакирующими и кондиционерами металла.

Металлоплакирующие присадки, направленные на реализацию эффекта безызносности при трении, подразделяются на порошковые (РиМет, РЕСУРС и другие) и ионные (Renom и МКФ-18У) и представляют собой смесь жирных органических кислот, их соединений, металлов и глицерина. Под действием жирных кислот и других органических компонентов поверхности трения пластифицируются (эффект Ребиндера), что способствует созданию оптимальной шероховатости трущихся деталей. При относительно высоких температурах порядка  $T=423...477$  К на них образуются тонкие медные структуры, получившие названия сервоитной плёнки, способной выдерживать высокие контактные нагрузки и на порядок снижать коэффициент трения [1].

Механизм действия кондиционеров металла (Energy release, FENOM и др.) основан на адсорбции их поверхностно-активных компонентов, например соединений на основе фторокарбоната (смола) кварца, эстеров или других ПАВ на поверхностях трения. Затем под действием высоких контактных нагрузок происходит пластифицирование поверхностей трения и формирование на них тончайшего слоя, по свойствам близкого к сервоитной пленке, характерной для эффекта безызносности [2].

Для экспериментальных исследований были отобраны рапсовое масло, минеральное трансмиссионное группы ТМ-3-18 и смешанного смазочного материала (СММ), состоящий на 70% из рапсового и на 30% из минерального трансмиссионного масла группы ТМ-3-18. СММ легировали присадками для агрегатов трансмиссий: металлоплакирующими (РиМет-Т, РЕСУРС-Т, Renom-Т и МКФ-18У) и кондиционерами металла («FENOM TRANSMISSION» и FENOM Old Chap TRANSMISSION). Испытания проводились на машине трения 2070 СМТ-1 по схеме «ролик-ролик» с 15% проскальзыванием, позволяющей моделировать условия работы зубчатого зацепления.

На первом этапе исследований проводилась оптимизация составов при сравнительных износных испытаниях смазочных материалов в концентрациях, рекомендуемых изготовителем. В качестве параметра оптимизации был принят массовый износ образцов.

Износные испытания длительностью 3 часа проводились при постоянной нагрузке 2000 Н и частоте вращения 1000 мин<sup>-1</sup>. В качестве образцов использовались предварительно приработанные ролики, изготовленные из стали 25 ХГТ ГОСТ 801-78 одной партии. Концентрация абразивных частиц ( $S=5600$  см<sup>2</sup>/г) во всех случаях была постоянной и составляла 0,25% масс.

Результаты сравнительных износных испытаний СММ, легированных присадками в концентрациях, рекомендуемых изготовителем, приведены в таблице 1 и на рисунке 1.

При износных испытаниях рапсового масла и СММ момент трения был меньше на 27,5 и 10% соответственно, чем у ТМ-3-18. Данные результаты можно объяснить тем, что под действием жирных кислот, содержащихся в рапсовом масле, происходит адсорбционное понижение твёрдости поверхностей трения, способствующее снижению момента трения и повышению износа [3].

Таблица 1

## Результаты сравнительных износных испытаний

Наименование смазочного материала и присадки	Массовый износ образцов, мг	Момент трения, Н·м
ССМ+1% МКФ-18У	24,1	3,1
ССМ+3% Renom-T	25,3	3,2
ССМ+5% РиМет-Т	28,66	4,1
ССМ+5% ПЕСУРС-Т	31,02	4,3
ССМ+3% FENOM-T	20,8	2,9
ССМ+3% FENOM-T Old Chap	24,8	3,2
ТМ-3-18	30,6	4
ССМ	33,8	3,6
Рапсовое масло	39,2	2,9

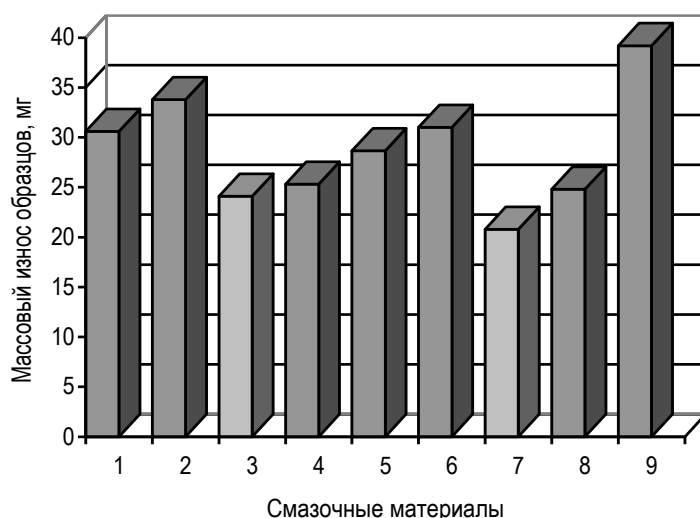


Рис. 1. Массовый износ образцов со смазочными материалами:

1 – ТМ-3-18; 2 – ССМ; 3 – ССМ+1% МКФ-18У; 4 – ССМ+3% Renom-T; 5 – ССМ+5% РиМет-Т; 6 – ССМ+5% ПЕСУРС-Т; 7 – ССМ+3% FENOM-T; 8 – ССМ+3% FENOM-T Old Chap; 9 – рапсовое масло

параметр оптимизации, были следующие:

- $x_1$  – нагрузка на ролики, Н;
- $x_2$  – концентрация присадки, %.

Остальные факторы, влияющие на параметр оптимизации, поддерживались постоянными:

- концентрация абразивных частиц 0,25%;
- частота вращения 1000 мин<sup>-1</sup>;
- время проведения опыта 1 ч.

При выполнении всех требований с заданной доверительной вероятностью получили уравнение регрессии вида:

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{12} X_{12} + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 \quad (1)$$

Преобразовав кодированные значения показателей в натуральные, с помощью формулы (1) получили уравнение зависимости момента трения от концентрации присадки и нагрузки. Использование полученного уравнения позволило определить оптимальные концентрации присадок МКФ-18У и FENOM-T при сравнении со значениями момента трения ССМ, легированного присадками в концентрациях, рекомендуемых изготовителем.

По результатам многофакторного эксперимента были определены оптимальные концентрации присадок МКФ-18У и FENOM-T для ССМ на основе рапсового масла, которые составили 0,75 и 1,5% соответственно. Легирование ССМ металлоплакирующей присадкой МКФ-18У в концентрации

0,75% снижает момент трения и массовый износ образцов по сравнению с ТМ-3-18 на 30,2 и 26% соответственно. Но при легировании ССМ кондиционером металла FENOM-T в концентрации 1,5% момент трения и массовый износ образцов снижаются на 35 и 34,3% соответственно.

Уменьшение концентрации присадки FENOM-T в 2 раза без потери антифрикционных и противоизносных свойств можно объяснить наличием ПАВ в рапсовом масле (пальмитиновая, стеариновая и др. карбоновые кислоты). В данном случае, по-видимому, происходит синергизм различных видов ПАВ и компенсация концентрации присадки FENOM-T карбоновыми кислотами, тем самым увеличивая эффект взаимодействия кондиционера металла с поверхностями трения.

На основании полученных данных результатов опытов можно сделать следующие выводы:

1) при легировании смесового смазочного материала металлоплакирующими присадками и кондиционерами металла лучшими противоизносными свойствами при абразивном изнашивании обладают присадки МКФ-18У и FENOM-T, снижающие массовый износ образцов на 26 и 34,3% соответственно;

2) по результатам многофакторного эксперимента выявлены оптимальные концентрации присадок: МКФ-18У – 0,75% и FENOM-T – 1,5%, снижающие момент трения на 30,2 и 35% соответственно.

#### Библиографический список

1. Балабанов, В.И. Триботехнологии в техническом сервисе машин / В.И. Балабанов, С.А. Ищенко, В.И. Беклемишев. – М. : Изумруд, 2005. – 192 с.
2. Балабанов, В.И. Трение, износ, смазка и самоорганизация в машинах / В.И. Балабанов, Н.И. Махонин, В.И. Беклемишев. – М. : Изумруд, 2002. – 208 с.
3. Фукс, Г.И. Адсорбционное понижение твёрдости и его влияние на контактирование твёрдых поверхностей в жидкой среде // Проблемы граничной смазки : сб. материалов, посвященных научной деятельности. – Вып. 2. – М. : Техника ; ООО «ТУМА ГРУПП», 2001. – С. 80-91.

УДК 621.892.3

Едуков Д.А. аспирант

### ВЛИЯНИЕ КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛЫ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА КРАЕВОЙ УГОЛ СМАЧИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ

*В статье приводятся экспериментальные результаты определения краевого угла смачивания поверхности различных смазочных материалов в зависимости от коэрцитивной силы постоянного магнитного поля.*

*In the paper giving experimental results of different lubricants surface wetting interfacial angle depending on a of a stationary magnetic field coercive force.*

Смачивание – физико-химическое явление, происходящее при контакте жидкостей с поверхностью твёрдых тел. Основную роль в смачивании играют поверхностные свойства жидкости и твёрдого тела. Смачивание является также мерой адсорбции поверхностно-активных веществ (ПАВ) [1], способствующих образованию прочной адсорбционной смазочной плёнки между поверхностями трения.

Маслоудерживающая способность поверхностей, зависящая в основном от краевого угла смачивания, оказывает существенное влияние на антифрикционные свойства и износ трущейся пары, работающей в условиях граничного трения [2].

Количественной характеристикой смачивания служит краевой угол  $\theta$  (рис. 1), который измеряют по наклону касательной к поверхности капли, находящейся на твёрдой поверхности. В зависимости от соотношения действующих по периметру смачивания поверхностных сил ( $\sigma_{12}$ ,  $\sigma_{13}$ ,  $\sigma_{23}$ ) капля или растекается по поверхности твёрдого тела или остаётся в равновесии [3].

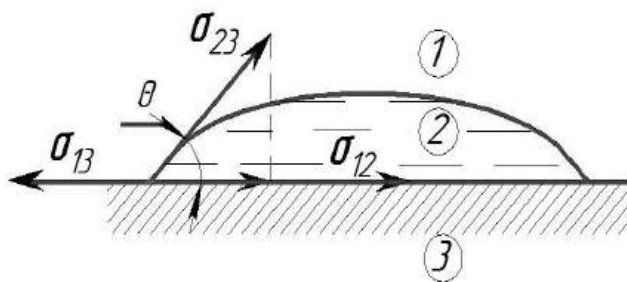


Рис. 1. Схема, поясняющая условия равновесия капли жидкости на поверхности твёрдого тела:  
1 – газ; 2 – жидкость; 3 – твёрдое тело;  $\theta$  – краевой угол смачивания;  $\sigma_{12}$ ,  $\sigma_{13}$ ,  $\sigma_{23}$  – силы натяжения на границах раздела фаз

масла (карбоновые кислоты), увеличивают дипольный момент под воздействием магнитного поля, способствуя увеличению скорости адсорбции и смачиваемости поверхности.

Целью данных исследований было определение влияния коэрцитивной силы постоянного магнитного поля на краевой угол смачивания поверхности.

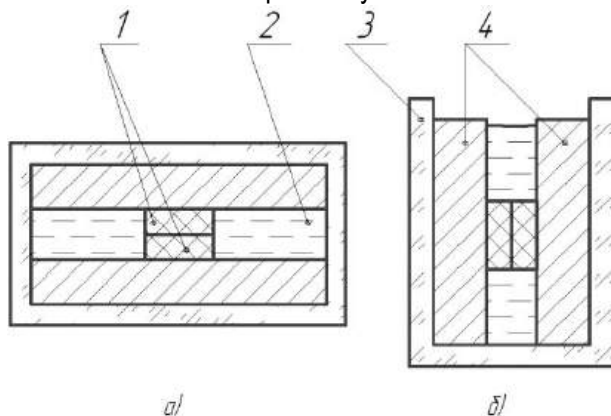


Рис. 2. Магнитоэлектростатическая обработка смазочного материала:  
а) вид сверху; б) вид сбоку; 1 – шайба из диэлектрика; 2 – смазочный материал; 3 – стеклянная бюретка; 4 – постоянный магнит

определённой коэрцитивной силы магнитного поля в течение 1 ч по следующей методике. Постоянные магниты системы Nd-Fe-B устанавливали противоположными полюсами друг к другу. Коэрцитивную силу магнитного поля регулировали изменением зазора, образуемого шайбами из диэлектрика, установленными по центру магнитов, где величина индукции минимальна. Затем при заданном зазоре тесламетром измеряли величину магнитной индукции и далее по кривой размагничивания данной марки магнитов определяли величину коэрцитивной силы по индукции.

Определение краевого угла смачивания поверхности различными смазочными материалами производилось сканированием фронтальной проекции капли, нанесённой на твёрдую поверхность, по следующей методике. Торцевая поверхность ролика из стали 40Х с шероховатостью, соответствующей поверхности трения трущихся деталей, каждый раз перед началом опыта обезжиривалась активированным углём и ацетоном, а затем высушивалась. Затем ролик устанавливался на штатив строго горизонтально около сканирующего устройства (рис. 3). Капля смазочного материала, обработанного при определённой коэрцитивной силе магнитного поля, наносилась с помощью пипетки с заданного расстояния. Затем сразу после нанесения капли

Магнитное поле способствует изменению краевого угла смачивания жидкости и ускорению адсорбции ПАВ на границе раздела жидкость – твёрдое тело [4]. Ускорение адсорбции будет прямо пропорционально зависеть от заряда поверхности и дипольного момента молекул поверхностно-активного вещества [3].

Например, известно, что магнитная обработка фосфолипидов, входящих в состав растительных масел, способствует увеличению дипольного момента их молекул на 20...24% [5]. Следовательно, молекулы ПАВ, входящих в состав смазочных материалов на минеральной основе (компоненты антифрикционных и противоизносных присадок) и растительные

Коэрцитивная сила по индукции – величина, равная напряжённости магнитного поля, необходимого для изменения магнитной индукции от остаточной индукции до нуля [6]. Данная величина является одной из основных магнитных характеристик постоянных магнитов. В работе использовались постоянные магниты системы Nd-Fe-B, которые обладают рекордными магнитными свойствами за счёт высокой коэрцитивной силы по сравнению с другими магнитными материалами.

В качестве смазочных материалов использовались трансмиссионное масло группы ТМ-3-18 и смесевой смазочный материал (ССМ), состоящий на 70% из рапсового и на 30% из трансмиссионного масла группы ТМ-3-18. Каждый смазочный материал подвергался магнитоэлектростатической обработке (рис. 2) при

верхняя торцевая поверхность ролика сканировалась через интервал времени 20 и 40 с. Для получения достоверных данных повторность каждого опыта составляла не менее 5 раз.

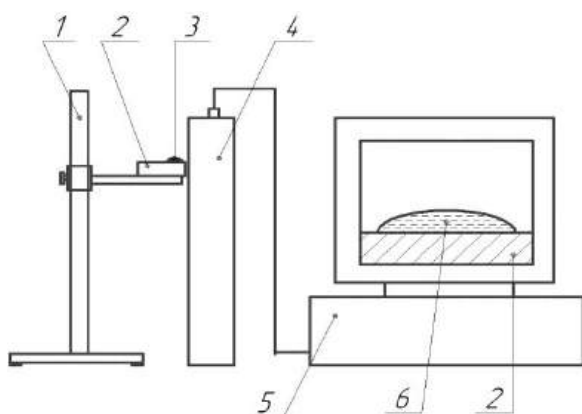


Рис. 3. Схема установки для определения краевого угла смачивания поверхности: 1 – штатив; 2 – образец твёрдого тела; 3 – капля смазочного материала, нанесённая на поверхность образца; 4 – сканирующее устройство; 5 – персональный компьютер; 6 – фронтальная проекция капли

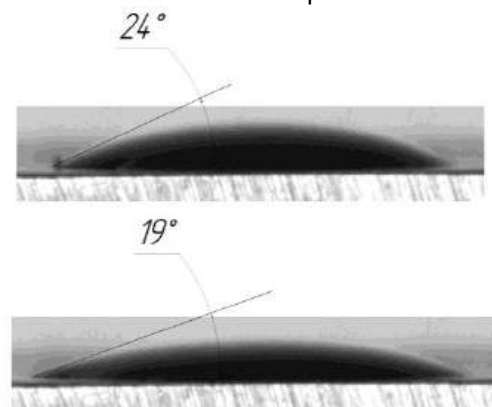
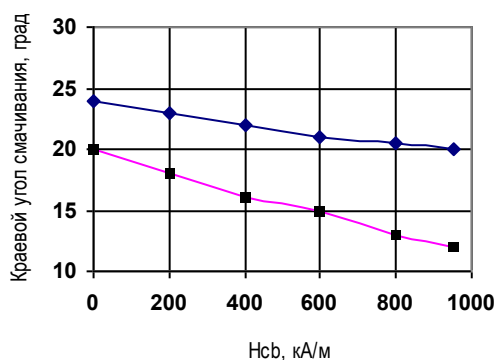
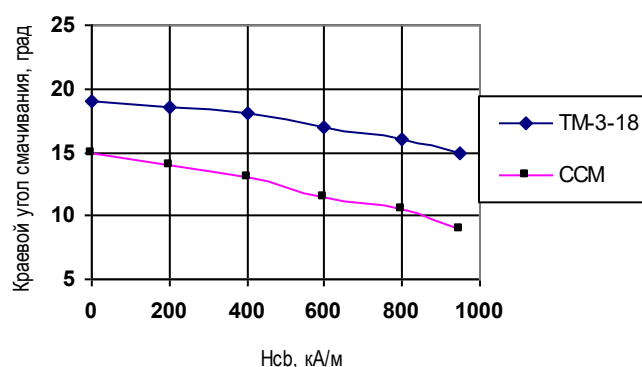


Рис. 4. Сканированное изображение фронтальной проекции капли смазочного материала через 20 и 40 с, с обозначением краевого угла смачивания



а)



б)

Рис. 5. Зависимость краевого угла смачивания, установившегося через 20 с (а) и 40 с (б), от коэрцитивной силы  $H_{cb}$  постоянного магнитного поля

Для исключения влияния массы капли на краевой угол смачивания производилось многократное взвешивание образца с нанесённой каплей после каждого сканирования различных смазочных материалов на аналитических весах ВЛА-200М.

Полученное изображение капли размером около 2500\*500 точек при разрешении 4500 точек на дюйм переносилось в программу «КОМПАС-7LT», где производилось измерение краевого угла смачивания поверхности (рис. 4). Полученные данные обрабатывались и строились зависимости краевого угла смачивания поверхности различными смазочными материалами от коэрцитивной силы постоянного магнитного поля (рис. 5).

Анализируя полученные данные можно сделать вывод о том, что зависимость краевого угла смачивания смазочных материалов от значения коэрцитивной силы имеет линейный характер. При максимальной коэрцитивной силе равной 950 кА/м краевой угол смачивания уменьшается у ТМ-3-18 на 17...22%, а у ССМ на 38...40%. Относительная разность результатов опытов для двух видов смазочных материалов объясняется тем, что в ССМ на основе рапсового масла содержатся карбоновые кислоты (стеариновая, пальмитиновая и другие), молекулы которых увеличивают свой дипольный момент в магнитном поле и ускоряют адсорбцию на границах раздела фаз. А в минеральном трансмиссионном масле группы ТМ-3-18 содержится меньшее количество ПАВ

(компоненты антифрикционных и противоизносных присадок), обладающих меньшей способностью к ускорению адсорбции в магнитном поле по сравнению с карбоновыми кислотами.

Для проверки полученных данных о влиянии коэрцитивной силы на краевой угол смачивания также были проведены износные испытания на четырёхшариковой машине трения МАСТ-1. Каждый смазочный материал подвергался магнитостатической обработке при коэрцитивной силе 950 кА/м в течение 1 ч. Условия проведения опыта: осевая нагрузка 200 Н, число оборотов верхнего шарика 1500 мин<sup>-1</sup>, время опыта 60 мин, температура 20±5°С. Противоизносные свойства, приобретённые при магнитостатической обработке, определялись по диаметру пятна износа нижних шариков. Результаты опытов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Смазочный материал	Диаметр пятна износа, мм	
	до магнитной обработки	после магнитной обработки
ССМ	0,4	0,35
ТМ-3-18	0,34	0,31

Анализируя полученные данные о результатах противоизносных свойств, приобретённых при магнитостатической обработке, можно сделать выводы:

- 1) смачиваемость и противоизносные свойства смазочных материалов увеличиваются при магнитостатической обработке. Причем максимальный эффект будет при содержании в смазочном материале ПАВ, молекулы которых способны к вертикальной ориентации к поверхности металла и обладающие относительно высоким дипольным моментом;
- 2) магнитостатическая обработка при коэрцитивной силе постоянного магнитного поля 950 кА/м увеличивает противоизносные свойства смазочных материалов на 8...12,5%.

#### Библиографический список

1. Сумм, Б.Д. Основы коллоидной химии. – М. : Издательский центр «Академия», 2006. – 240 с.
2. Асташкевич, Б.М. Влияние трения на смачиваемость поверхностей / Б.М. Асташкевич, Т.В. Ларин, Д.И. Зияев // Проблемы трения и изнашивания. – Киев : Техника, 1977. – №11. – С. 57-61.
3. Ахматов, А.С. Молекулярная физика граничного трения. – М. : Физматгиз, 1963. – 472 с.
4. Классен, В.И. Омагничивание водных систем. – М. : Химия, 1982. – 296 с.
5. Артунян, Н.С. Фосфолипиды растительных масел / Н.С. Артунян, Е.П. Корнева. – М. : Агропромиздат, 1986. – 256 с.
6. Куневич, А.В. Ферриты. Энциклопедический справочник : в 5 т / А.В. Куневич, И.Н. Сидоров. – СПб. : ЛИК, 2004. – Т. 1 – 355 с.

УДК 621.43-21/-22.004.67

Мясников Б.Н. к.т.н., доцент; Митрофанов А.С. ст. преподаватель

## ВЛИЯНИЕ КОНДИЦИОНЕРА МЕТАЛЛА “ФОРСАН” НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МАСЛА

*В статье рассмотрено влияние ремонтно-восстановительного состава «Форсан» на эксплуатационные свойства масла. Рассмотрено изменение щелочного числа, кислотного числа, вязкости и механических примесей. Рассмотрены результаты испытаний масла на угар.*

*In clause the influence of repair – regenerative structure «Forsan» on operational properties of oil is considered. Change of alkaline number, acid number, viscosity and mechanical impurity is considered. Results of oil tests on an intoxication are considered.*

В настоящее время в России и за рубежом разрабатываются и все более активно предлагаются к продаже препараты и средства, позволяющие в процессе эксплуатации, не производя полной разборки узлов и агрегатов, частично восстанавливать изношенные поверхности



трения с одновременным повышением их износостойкости и других технико-экономических показателей.

К таким средствам можно отнести различные восстановители: металлолакирующие и металлокерамические материалы, металлизанты и реметаллизанты, кондиционеры и рекондиционеры, модификаторы и т.п. Действие их основано на создании антифрикционного поверхностного слоя.

Механизм действия кондиционеров металла основан на взаимодействии их поверхностно-активных компонентов с поверхностями трения. Ионизированные молекулы кондиционеров металла, проникая во внутрь металлической поверхности, изменяют их структурный состав, прочностные и антифрикционные свойства.

Для определения влияния ремонтно-восстановительного состава на качество эксплуатационного масла были проведены анализы базового масла и базового масла с добавлением 10% "Форсан". Полученные данные сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты анализа масла М-10Г<sub>2</sub> и М-10Г<sub>2</sub>+ 10% "Форсан"

Наименование показателя	ГОСТ 8581-82 М-10Г <sub>2</sub>	Результат анализа	
		М-10Г <sub>2</sub> (базовое)	М-10Г <sub>2</sub> + 10% "Форсан"
Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с при 100°С	11 ± 0,5	10,48	10,64
Индекс вязкости, не менее	Не менее 85	94,03	89,11
Массовая доля механических примесей, %	не более 0,015	0,014	0,06
Содержание воды, %	следы	отсутствуют	отсутствуют
Температура вспышки, °С	не ниже 205	214	216
Щелочное число, мг КОН/г	не менее 6,0	6,49	6,57
Зольность, %	не более 1,65	1,04	0,99

Из таблицы 1 видно, что при добавлении "Форсан" большинство показателей масла М-10Г<sub>2</sub> остаются в пределах значений ГОСТа 8581-82. За пределы значений ГОСТа выходит только содержание механических примесей. Они определялись методом центрифугирования (число оборотов центрифуги 2500 мин<sup>-1</sup>), а так как в масло добавлен реметализант, то это приводит в результате коагуляции, к образованию агрегатов, которые при центрифугировании оседают на стенках центрифуги.

Для определения эксплуатационных свойств масла с добавлением "Форсан" были проведены его испытания. В трактор МТЗ-102 с двигателем Д-245 заливали испытуемое масло, и трактор работал 300 мото-ч. Согласно методике испытания масла, через каждые 60 мото-ч работы трактора отбирались пробы масла из картера двигателя специальным пробоотборником, и проводился их анализ. Данные анализа сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Данные анализа масла в процессе эксплуатации

№ пробы	Вязкость кинематическая при 100°С 10 – 6 м <sup>2</sup> /с	Щелочное число, мг КОН/г	Зольность, %	Содержание механических примесей, %	Температура вспышки, °С	Содержание воды, %
				всего		
0	10,64	6,57	0,99	0,06	210	отсутствует
1	10,00	5,90	1,05	0,17	230	отсутствует
2	9,63	5,82	1,01	0,27	212	отсутствует
3	9,74	5,16	1,00	0,67	216	отсутствует
4	9,27	4,87	0,96	0,86	204	отсутствует
5	9,40	4,78	0,97	0,76	210	отсутствует

Одной из важнейших характеристик качества масел является щелочность, по величине которой можно судить о наличии присадок в масле и оценить степень его пригодности к дальнейшему использованию. По результатам исследований выявлено, что щелочность масел имеет устойчивую тенденцию к понижению. За первые 60 мото-ч работы двигателя она снижается

на 11%. В последующий период работы (до 300 мото-ч) снижение щелочного числа происходит с меньшей интенсивностью и составляет 5%.

Установлено, что вязкость масла в двигателях Д-245 так же имеет тенденцию к снижению. За 60 ч работы двигателя наблюдается уменьшение вязкости масла на 6%. К 300 мото-ч работы вязкость масла М-10Г<sub>2</sub> уменьшилась на 12% и составила 9,4 сСт, но осталась в пределах значений приведенных в ГОСТе 8581-82 на моторные масла.

Температура вспышки и зольность в процессе испытания изменяются незначительно.

Исследования изменения механических примесей в масле показали, что в первые 60 мото-ч содержание несгораемых механических примесей составило 0,17%. В последующие 240 ч работы двигателя содержание механических примесей увеличивалось. Мы предполагаем, что это увеличение связано с механизмом действия реметализанта "Форсан". Условно действия "Форсана" можно разделить на два момента.

1) В процессе работы происходит очистка микрорельефа пар трения от продуктов износа, нагаров и других загрязнителей, что приводит к увеличению содержания механических примесей.

2) Параллельно происходит непосредственно синтез металлокерамического слоя на подготовленные и очищенные поверхности пар трения.

Одним из важнейших технико-экономических показателей работы двигателя является угар масла по отношению к расходу топлива. На двигателе Д-245 были проведены испытания на угар после 500 часов работы на базовом масле с 10% "Форсан". Формирование антифрикционных слоев на поверхности трения двигателя позволило снизить угар масла до 0,15% от расхода топлива. По ОСТ 102.25-98 допускается значение угара в пределах 0,3...0,6% от расхода топлива. Двигатель фактически работал без долива масла.

Из выше изложенного можно сделать выводы.

- При добавлении в масло М-10Г<sub>2</sub> +10% "Форсан" свойства масла в основном не меняются, меняется только содержание механических примесей, это, видимо, связано с процессами коагуляции коллоидной системы.

- За 300 мото-ч работы масла качественные показатели свойства масла изменяются в пределах ГОСТа кроме механических примесей.

- Фактический угар масла при испытании базового масла с "Форсаном" составил 0,15% от расхода топлива, т.е. уменьшился минимум в 2 раза.

#### Библиографический список

1. Кузнецов, А.В. Топливо и смазочные материалы. – М. : Колос, 2004. – 199 с.
2. Уханов, А.П. Использование нефтепродуктов, технических жидкостей и ремонтных материалов при эксплуатации мобильных машин : учебное пособие / Ю.В. Гуськов, И.И. Артемов, А.В. Климанов. – Самара : ГСХА, 2002. – 292 с.

УДК 621.89:631.3.019.3

Цыпцын В.И. д.т.н., профессор; Щербаков Д.А. к.т.н., ст. преподаватель;  
Удодов С.Н. к.т.н., доцент (Саратовский ГАУ)

### МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ МАГНИТНЫХ МЕТАЛЛОПЛАКИРУЮЩИХ СМАЗОК В ТРИБОСОПРЯЖЕНИЯХ

*Разработана и обоснована модель взаимодействия магнитных смазок с поверхностью трения в контакте. Экспериментально установлено снижение износа и увеличение ресурса деталей.*

*The model of magnetic lubrications interaction with contact friction surface is developed and proved. The decrease in deterioration and details recourse increase is experimentally established.*

Особый интерес представляет использование в узлах мобильных сельскохозяйственных машин новых пластичных смазочных композиций с использованием мелкодисперсных порошков

магнитоактивных присадок. Применение магнитных металлоплакирующих смазок (ММС) позволяет достигнуть более интенсивного формирования защитной пленки на поверхностях трибосоединений на основе новых механизмов.

Нами была разработана физико-математическая модель магнитного взаимодействия. Определяющими параметрами для построения теории физико-математической модели являются: величина напряжённости магнитного поля ( $H_n$ ) на поверхностях магнитного и немагнитного твёрдого тела после нанесения на нее магнитной металлоплакирующей пластичной смазки; размер и форма частиц магнитоактивного наполнителя.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что линейная ориентация доменов наполнителя смазочного материала, нанесенного на немагнитную (немагнитную) основу, приводит к возникновению полей рассеяния над поверхностями пленки. Значение напряженности магнитного поля  $H_n$  у поверхности ММС составляло 400...480 А/м. В связи с этим структуру ММС можно представить как объем с однородным распределением напряженности магнитного поля.

При исследовании смазочного материала, нанесённого на металлическую магнитную основу, установлено, что поле  $H_n = 0$ . Этот факт указывает на то, что силовые линии поля замыкаются по поверхности тела и магнитные частицы образуют связь с металлической поверхностью.

На основе результатов проведенных измерений образуются две структурные модели силового взаимодействия магнитных частиц пластичной смазки с твёрдым телом: на немагнитной (стеклянной) подложке (рис. 1) и на магнитной (стальной) поверхности (рис. 2).

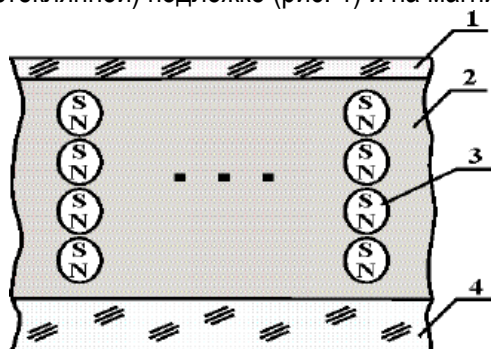


Рис. 1. Структура пленки магнитного смазочного материала на немагнитной (стеклянной) подложке:

- 1 – покрывное стекло; 2 – смазочная основа;
- 3 – магнитная дипольная частица;
- 4 – стеклянная подложка

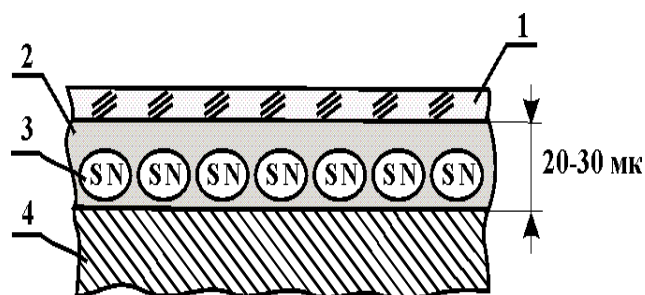


Рис. 2. Структура пленки магнитного смазочного материала на магнитной (стальной) подложке:

- 1 – покрывное стекло; 2 – смазочная основа;
- 3 – магнитная дипольная частица;
- 4 – металлическая подложка

Экспериментально установив величину поля рассеяния на поверхности плёнки и используя основные законы магнитостатики определим величину  $\Delta F_m$ .

В соответствии с электростатикой напряжённость электростатического поля вблизи равномерно заряженной плоскости равна  $2\pi \cdot \sigma_E$  (где  $\sigma_E$  – плотность электростатического заряда). По аналогии напряжённость магнитного поля вблизи намагниченной пластины:

$$H = 2\pi \cdot \sigma_M, \quad (1)$$

где  $\sigma_M$  – плотность фиктивных магнитных зарядов.

В очень узком зазоре между полюсами частицы наполнителя и стальной подложкой возникает однородное поле напряженностью:

$$H = 2\pi \cdot \sigma_M \cdot k, \quad (2)$$

где  $k = 2$  – коэффициент, учитывающий наличие у монодомена зеркального заряда.

Известно, что в плоском конденсаторе одна пластина притягивает другую с силой:

$$F = Q \cdot E / 2, \quad (3)$$

где  $Q$  – заряд пластины;

$E$  – напряженность электростатического поля.

Поэтому по аналогии можно принять, что сила магнитного взаимодействия частицы присадки и поверхности трения детали  $F_m$  определяется взаимодействием магнитных полюсов:

$$F_m = n \cdot m \cdot H / 2, \quad (4)$$

где  $n = 2$  – коэффициент, учитывающий наличие у монодомена магнитных полюсов;

$m$  – магнитная масса магнитного полюса.

$$m = \sigma_m \cdot S, \quad (5)$$

где  $S$  – площадь полюса монодомена;

$\sigma_m$  – плотность фиктивных магнитных зарядов, находим из соотношения (2):

$$\sigma_m = H / 2\pi \cdot k,$$

Таким образом:

$$m = H \cdot S / 2\pi \cdot k.$$

Если частицы магнитоактивной добавки имеют сферическую форму, то площадь распределения магнитного заряда выражается формулой:

$$S = \pi d^2 / 4.$$

Подставляя значения коэффициентов  $k$  и  $n$ ,  $S$  получаем выражение для нахождения силы взаимодействия магнитной частицы добавки с поверхностью детали:

$$F_m = H^2 \cdot S / 4\pi,$$

Таким образом, формула примет окончательный вид для расчетов:

$$F_m = H^2 \cdot d^2 / 16, \quad (6)$$

Данное соотношение позволяет найти дополнительную силу магнитного взаимодействия отдельной магнитоактивной частицы наполнителя, находящейся в смазочной среде, с поверхностью трения детали.

Значение силы  $F_m$  для взаимодействия частицы MMC – сплава магнетофлекс сферической формы диаметром  $d = 30 \cdot 10^{-7}$  см (30 нм) и величине поля рассеивания  $H_n = 6 \text{ Э}$  (0,476 кА/м) составило  $\Delta F_m = 20,25 \cdot 10^{-17}$  Н.

Механизм действия MMC заключается в следующем. Пластичная смазка с металлоплакирующей магнитоактивной добавкой является консистентной массой с высокой вязкостью, содержащей мелкодисперсные металлические частицы. В рабочем зазоре трибоузла под действием температуры, нагрузки и давления пластичная смазка с металлоплакирующей магнитоактивной добавкой разжижается, приобретая свойства ферроколоидного раствора. Магнитные частицы металлоплакирующего материала под действием сил магнитного взаимодействия ( $F_m$ ) перемещаются к поверхностям трения деталей. Затем, на более близких расстояниях между частицами и поверхностью трения, увеличивается действие адсорбции, ван-дер-ваальсовых сил и сил межмолекулярного взаимодействия. Материал частиц, представляя собой мягкий плакирующий металл, образует прочную защитную пленку.

Таким образом, сила  $\Delta F_m$  участвует в процессе формирования металлоплакирующей плёнки путём ускорения переноса магнитоактивных частиц из объёма пластичной смазки на поверхности трения, что обеспечивает снижение износа, момента трения и повышение противозадирной стойкости.

Проведенные лабораторные и эксплуатационные испытания показали, что применение магнитных металлоплакирующих смазок позволяет снизить износ деталей на 33...46%, что в итоге позволяет прогнозировать увеличение ресурса мобильной с/х техники на 40...60%.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОЛИБДЕНА И ЕГО СОЕДИНЕНИЙ С МЕТАЛЛАМИ ПАР ТРЕНИЯ

*Рассмотрен процесс взаимодействия дисульфида молибдена с металлическими поверхностями трения. Установлены две стадии процесса и улучшение показателей приработки деталей.*

*In this article the process of molybdenum disulfate interaction with friction metal surfaces is considered. The authors established two stages of process and details extra function parameters improvement.*

Механизм действия молибденосодержащих соединений рассматривается исследователями с двух основных точек зрения [1]. Первая основана на снижении трения вследствие малого тангенциального напряжения сдвига пленки, образуемой молекулами присадки на поверхности трущихся тел. Вторая учитывает особенности химического взаимодействия, в том числе и сильную поляризацию атомов серы в этих соединениях.

Однако до сих пор механизм действия дисульфида молибдена в условиях приработки трущихся деталей шестеренчатого насоса до конца не раскрыт, а имеющиеся данные в литературе противоречивы [1]. Поэтому методом дериватографии моделировали химическое взаимодействие между  $\text{MoS}_2$  и металлом, протекающее в реальных условиях приработки [2]. Исследования проводились на дериватографе марки ОД-103. Решающую роль в протекании физико-химических процессов играют всплески температур на пятнах касания микровыступов трущихся пар. Отсюда критерием оценки в данном случае служил интервал температур от начала разложения присадки в присутствии металла до максимума первого пика на кривой дифференциально-термического анализа (ДТА).

Исследовали дисульфид молибдена, тщательно перемешанный с порошком металла. Результаты исследований представлены на рисунке 1. Для лучшего контакта  $\text{MoS}_2$  с металлом брали десятикратный избыток металла пары трения по отношению к дисульфиду молибдена. В этом случае термическое разложение компонентов происходило действительно на поверхности металла, что в известной мере моделировало условия химического взаимодействия  $\text{MoS}_2$  с металлом в зоне трения.

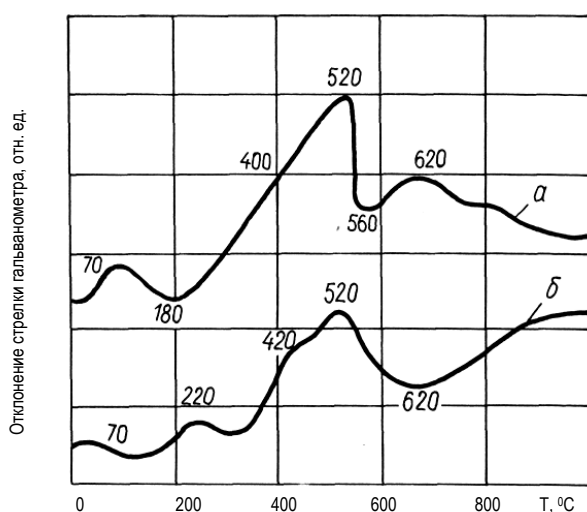
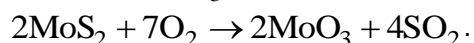


Рис. 1. ДТА – кривые: а –  $\text{MoS}_2$ ; б –  $\text{MoS}_2 + \text{Me}$

Пробы весом 200...300 мг нагревали в керамических тиглях от комнатной температуры до 1100°C. Все это, давало более точные результаты в процессе химических и физических превращений. Температуру замеряли при помощи платинородиевой термопары. Перед испытанием образцы помещались в кварцевые ячейки с целью исключить каталитическое действие посторонних материалов.

Исследования дисульфида молибдена (рис. 1, а) показали, что соединение термически стабильно до 450°C. В интервале температур 70...400°C, по-видимому, происходит слабое окисление дисульфида молибдена. При температуре выше 400°C происходит быстрое окисление его до  $\text{MoO}_3$ :



При этом фиксируется экзотермический эффект (520°C). Суммарная потеря массы в ходе второй стадии разложения и последующей бурной экзотермической реакции составляет от 10 до 24%.

Практически процесс протекает в две стадии: при температуре 70...400 и 400...620°C.

Таким образом, вследствие взаимодействия образовавшихся при этом химически активных продуктов разложения  $\text{MoS}_2$  с металлом на дифференциальной кривой наблюдается резкий экзотермический эффект при 520°C. Это говорит об образовании нового химического соединения продуктов разложения  $\text{MoS}_2$  с металлом:  $\text{MoS}_2 + \text{Me} \longrightarrow 2\text{MeS}_2 + \text{Mo}$ .

Конечным продуктом химического взаимодействия продуктов разложения являются сульфиды. После покрытия монослоем сульфида реакция переходит в диффузионную область, где скорости ее определяются скоростью процессов диффузии в твердом теле.

Выделяющийся молибден диффундирует в поверхности трения, насыщая ее, повышая износостойкость. Кроме того, молибден образует с металлом легкоплавкую эвтектику, что опять же способствует пластическому деформированию шероховатостей поверхностей трения и интенсифицирует приработку с минимальным износом [3]. Для установления фазового состава твердых продуктов термолитиза использовался рентгеноструктурный анализ, который проводили на дифрактометре ДРОН-2 (рис. 2) [4].

Строение полученных соединений было подтверждено ИК-спектроскопическими исследованиями на приборе UR-20 с призмами Al, Cr, Li в области частот 1000-1400 и 2800-3800  $\text{cm}^{-1}$  (рис. 3).

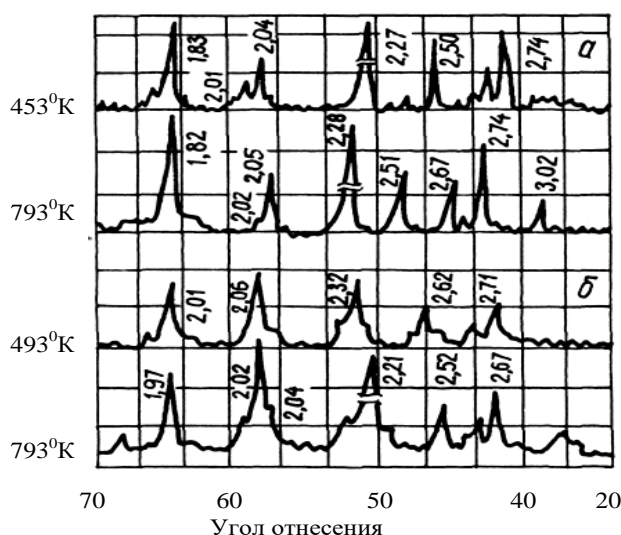


Рис. 2. Дифрактограммы:  
а –  $\text{MoS}_2$ ; б – продукт взаимодействия  $\text{MoS}_2 + \text{Me}$

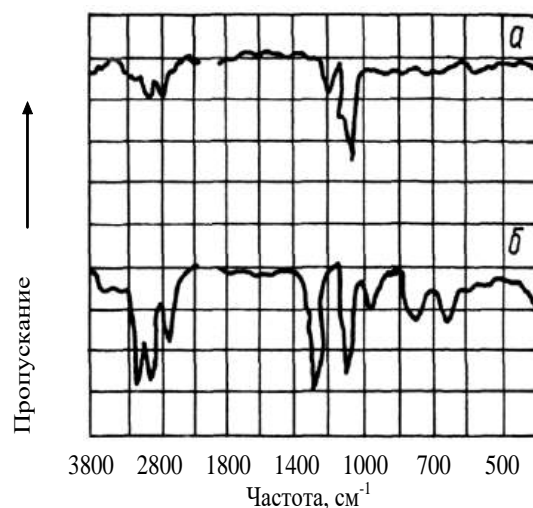


Рис. 3. ИК-спектры поглощения:  
а –  $\text{MoS}_2$ ; б – продукта взаимодействия  $\text{MoS}_2 + \text{Fe}$

Таким образом, исследованиями установлено химическое взаимодействие дисульфида молибдена с металлами пар трения, которое включает хемосорбцию серосодержащих соединений за счет образования сульфидов, что в условиях граничного трения определяет приработочные и противозадирные свойства дисульфида молибдена.

#### Библиографический список

1. Пугина, Л.Н. Дисульфид молибдена, его свойства и применение. – Киев : Наукова думка, 1988.
2. Методы термогравиметрических исследований веществ на дериватографе системы МОМ / пер. с польск. – Варшава : Высшая школа. – Вып. XIX. – С. 56-78
3. Воловик, Е.Л. Справочник по восстановлению деталей. – М. : Колос, 1981. – 351 с.
4. Бокий, Г.Б. Рентгеноструктурный анализ / Г.Б. Бокий, М.А. Порай-Кошиц. – М., 1984. – Т. 1, 2.

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СВОЙСТВ СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ

*Проведен анализ методов восстановления свойств отработанных масел и обоснован рациональный режим их регенерации в условиях потребителя смазочных материалов.*

*In this article the analysis of fulfilled oils properties restoration methods is established and the optimal mode of their regeneration in lubricants consumer conditions is proved.*

В процессе работы смазочных масел в них накапливаются продукты окисления, загрязнения и другие примеси, которые ухудшают эксплуатационные свойства масел. Масла, содержащие вредные продукты и примеси, неспособны удовлетворять предъявляемым к ним эксплуатационным требованиям и должны заменяться свежими маслами. Отработанные масла собирают и подвергают регенерации с целью сохранения ценного сырья, что является экономически выгодным.

Переработать отработанные смазочные масла совместно с нефтью на нефтеперерабатывающих заводах нельзя, т.к. присадки, содержащиеся в маслах, нарушают работу нефтеперерабатывающего оборудования.

В зависимости от технологического процесса регенерации можно получать 2-3 фракции базовых масел, из которых компаундированием и введением присадок могут быть приготовлены товарные масла (моторные, трансмиссионные, гидравлические, СОЖ, пластичные смазки). Средний выход регенерированного масла из отработанного, содержащего около 2-4% твердых загрязняющих примесей и воды, до 10% топлива, составляет 70-85% в зависимости от применяемого способа регенерации.

При восстановлении отработанных масел применяются различные методы, основанные на физических, физико-химических, химических процессах и заключаются в обработке масла с целью удаления из него продуктов старения и загрязнения.

Физические методы позволяют удалять из масел твердые частицы загрязнений, микрокапли воды и частично – смолистые и коксообразные вещества, а с помощью выпаривания – легкокипящие примеси. Масла обрабатываются в силовом поле с использованием гравитационных, центробежных и реже электрических, магнитных и вибрационных сил, а также фильтрование, водная промывка, выпаривание и вакуумная дистилляция. К физическим методам очистки отработанных масел относятся также различные массо- и теплообменные процессы, которые применяются для удаления из масла продуктов окисления углеводородов, воды и легкокипящих фракций.

Отстаивание является наиболее простым методом, он основан на процессе естественного осаждения механических частиц и воды под действием гравитационных сил. В зависимости от степени загрязнения топлива или масла и времени, отведенного на очистку, отстаивание применяется либо самостоятельно, либо как предварительный метод, предшествующий фильтрации или центробежной очистке. Основным недостатком этого метода является большая продолжительность процесса оседания частиц до полной очистки, удаление только наиболее крупных частиц размером 50-100мкм.

Фильтрация – процесс удаления частиц механических примесей и смолистых соединений путем пропускания масла через сетчатые или пористые перегородки фильтров. В качестве фильтрационных материалов используют металлические и пластмассовые сетки, войлок, ткани, бумагу, композиционные материалы и керамику. Во многих организациях, эксплуатирующих СДМ, реализован следующий метод повышения качества очистки моторных масел – увеличивается количество фильтров грубой очистки и вводится в технологический процесс вторая ступень – тонкая очистка масла.

Центробежная очистка осуществляется с помощью центрифуг и является наиболее эффективным и высокопроизводительным методом удаления механических примесей и воды. Этот метод основан на разделении различных фракций неоднородных смесей под действием

центробежной силы. Применение центрифуг обеспечивает очистку масел от механических примесей до 0,005% по массе, что соответствует 13 классу чистоты и обезвоживание до 0,6% по массе.

Физико-химические методы нашли широкое применение, к ним относятся коагуляция, адсорбция и селективное растворение содержащихся в масле загрязнений. Разновидностью адсорбционной очистки является ионно-обменная очистка.

Коагуляция, т. е. укрупнение частиц загрязнений, находящихся в масле в коллоидном или мелкодисперсном состоянии, осуществляется с помощью специальных веществ – коагулянтов, к которым относятся электролиты неорганического и органического происхождения, поверхностно активные вещества (ПАВ), не обладающие электролитическими свойствами, коллоидные растворы ПАВ и гидрофильные высокомолекулярные соединения.

Процесс коагуляции зависит от количества вводимого коагулянта, продолжительности его контакта с маслом, температуры, эффективности перемешивания и т.д. Продолжительность коагуляции загрязнений в отработанном масле составляет, как правило, 20-30 мин, после чего можно проводить очистку масла от укрупнившихся загрязнений с помощью отстаивания, центробежной очистки или фильтрования.

Адсорбционная очистка заключается в использовании способности веществ, служащих адсорбентами, удерживать загрязняющие масло продукты на наружной поверхности гранул и на внутренней поверхности пронизывающих гранулы капилляров. В качестве адсорбентов применяют вещества природного происхождения (отбеливающие глины, бокситы) и полученные искусственным путем (силикагель, окись алюминия).

Адсорбционная очистка может осуществляться контактным методом – масло перемешивается с измельченным адсорбентом, перколяционным методом – очищаемое масло пропускается через адсорбент, методом противотока – масло и адсорбент движутся навстречу друг другу. К недостаткам контактной очистки следует отнести необходимость утилизации большого количества адсорбента, загрязняющего окружающую среду. При перколяционной очистке в качестве адсорбента чаще всего применяется силикагель, что делает этот метод дорогостоящим. Наиболее перспективным методом является адсорбентная очистка масла в движущемся слое адсорбента, при котором процесс протекает непрерывно, без остановки для периодической замены, регенерации или отфильтровывания адсорбента, однако применение этого метода связано с использованием довольно сложного оборудования, что сдерживает его широкое распространение.

Ионно-обменная очистка основана на способности ионов задерживать загрязнения, диссоциирующие в растворенном состоянии на ионы. Иониты представляют собой твердые гигроскопические гели, получаемые путем полимеризации и поликонденсации органических веществ и не растворяющиеся в воде и углеводородах. Процесс очистки можно осуществить контактным методом при перемешивании отработанного масла с зернами ионита размером 0,3-2,0 мм или перколяционным методом при пропускании масла через заполненную ионитом колонну. В результате ионообмена подвижные ионы в пространственной решетке ионита заменяются ионами загрязнений. Восстановление свойств ионитов осуществляется путем их промывки растворителем, сушки и активации 5% раствором едкого натра. Ионно-обменная очистка позволяет удалять из масла кислотные загрязнения, но не обеспечивает задержки смолистых веществ.

Селективная очистка основана на избирательном растворении отдельных веществ, загрязняющих масло: кислородных, сернистых и азотных соединений, а также при необходимости полициклических углеводородов с короткими боковыми цепями, ухудшающих вязкостно-температурные свойства масел.

В качестве селективных растворителей применяются фурфурол, фенол и его смесь с крезолом, нитробензол, различные спирты, ацетон, метил этиловый кетон и другие жидкости. Селективная очистка может проводиться в аппаратах типа "смеситель – отстойник" в сочетании с испарителями для отгона растворителя (ступенчатая экстракция) или в двух колоннах – экстракционной, для удаления из масла загрязнений и ректификационной для отгона растворителя (непрерывная экстракция). Второй способ экономичнее и получил более широкое применение.



Разновидностью селективной очистки является обработка отработанного масла пропаном, при которой углеводороды масла растворяются в пропане, а асфальто-смолистые вещества, находящиеся в масле в коллоидном состоянии, выпадают в осадок.

Химические методы очистки основаны на взаимодействии веществ, загрязняющих отработанные масла, и вводимых в эти масла реагентов. При этом в результате химических реакций образуются соединения, легко удаляемые из масла. К химическим методам очистки относятся сернокислотная очистка, процессы с применением натрия и его соединений.

По числу установок и объему перерабатываемого сырья на первом месте в мире находятся процессы с применением серной кислоты. В результате сернокислотной очистки образуется большое количество кислого гудрона – трудно утилизируемого и экологически опасного отхода. Кроме того, сернокислотная очистка не обеспечивает удаление из отработанных масел полициклических аренов и высокотоксичных соединений хлора.

Процессы с применением натрия и его соединений применяются для очистки отработанных масел от полициклических соединений (смола), высокотоксичных соединений хлора, продуктов окисления и присадок применяются процессы с использованием металлического натрия. При этом образуются полимеры и соли натрия с высокой температурой кипения, что позволяет отогнать масло. Выход очищенного масла превышает 80%. Процесс не требует давления и катализаторов, не связан с выделением хлоро- и сероводорода. Несколько таких установок работают во Франции и Германии. Среди промышленных процессов с использованием суспензии металлического натрия в нефтяном масле наиболее широко известен процесс Recyclon (Швейцария). Процесс Lubrex с использованием гидрооксида и бикарбоната натрия (Швейцария) позволяет перерабатывать любые отработанные масла с выходом целевого продукта до 95%.

Необходимо отметить, что при регенерации масел, возможно, получать базовые масла, по качеству идентичные свежим, причем выход масла в зависимости от качества сырья составляет 80-90%, таким образом, базовые масла можно регенерировать еще, по крайней мере, два раза, но это возможно реализовать при условии применения современных технологических процессов.

Наиболее перспективным способом поддержания моторных масел на уровне работоспособного является постоянный контроль показателей качества масел и периодическая очистка от механических примесей.

Каждому транспортному предприятию целесообразно использовать возможность экономить моторные масла, для чего следует организовать пост по сбору, очистке моторных масел и контролю их качества. Накопление механических примесей – это основной фактор ухудшения качества масел. Физические методы являются наиболее простыми, не требующие значительных материальных и трудовых затрат. Применение центробежной очистки масел позволяет: повысить срок службы моторных масел в 2-3 раза в зависимости от условий эксплуатации; обеспечить благоприятные условия работы смазочных устройств; повысить их надежность и долговечность; снизить эксплуатационные затраты и за счет этого повысить эффективность использования СДМ.

Ежегодно в мире в окружающую среду попадает около 3 млн. т отработанных масел, поэтому их рациональное использование способствует экономии нефтяных ресурсов, а также предотвращает загрязнение окружающей среды.

#### Библиографический список

1. Ленивцев, Г.А. Рациональные методы использования масел в сельскохозяйственной технике / Ленивцев Г.А., Глазков В.Ф., Бухвалов С.Г., Поздняков В.Р.
2. Бутов, Н.П. Холодная регенерация отработавших масел / Бутов Н.П., Чуприкин Н.И., Лимарев В.Я. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1993. – №11-12

## ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВ В СМЕСИ С МИНЕРАЛЬНЫМИ И РАСТИТЕЛЬНЫМИ МАСЛАМИ

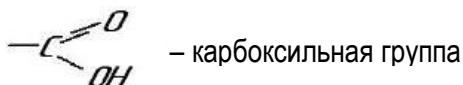
*Дана сравнительная оценка триботехнических показателей растительных и минеральных масел и их смесей с бензином. Обоснованы социальные и технические качества и целесообразность использования экологически безопасных нетрадиционных растительных масел для технических целей.*

*Comparative assessment of vegetable and mineral oils tribotechnical metrics and their mixtures with gasoline have been done. Social and technical qualities and expediency of ecologically safe non-traditional vegetable oils using for the technical purposes have been proved.*

Основным источником возобновляемых энергетических ресурсов на Земле являются зеленые растения. Их энергетика основана на аккумулировании в фитомассе солнечной энергии и генерировании ее в процессе биохимического цикла. В последнее время заметно возросла потребность в энергоносителях растительного происхождения и в частности в нетрадиционных растительных маслах. Мировой опыт показывает, что при использовании растительных масел в качестве альтернативных топливно-смазочных материалов в автотракторной технике наряду с экономией невозобновляемых минеральных углеводородных энергоносителей решается глобальная экономическая проблема предотвращения так называемого парникового эффекта. Наиболее приемлемый и доступный способ повышения топливной экономичности, не требующий существенных изменений конструкции эксплуатируемых автотракторных двигателей, заключается в использовании для их питания смесей углеводородных топлив с кислородосодержащими растительными маслами.

Однако растительные масла как компоненты моторных топлив АТД и триботехнические материалы механизмов силовых передач не достаточно апробированы и не востребованы в условиях эксплуатации автотракторной техники. Поэтому обоснование применимости их для технических целей, особенно в сельскохозяйственном производстве, остается актуальным [1].

Для технических целей целесообразнее применять жидкие растительные масла, растворимые в углеводородных топливах и состоящие из свободных карбоновых кислот и их триглицеридов. Например, рапсовое масло, содержащее в основном сложный эфир трехатомного спирта глицерина с тремя высшими непредельными карбоновыми кислотами: олеиновой, линолевой и линоленовой. В молекулах карбоновых кислот содержится характерная группировка атомов:



Эта группа диссоциирует в процессе трения на полярные ионы  $OH^-$ ,  $COOH^-$ ,  $RCCO^-$  и др. и формирует на поверхностях трения адсорбированные слои растительного масла, в результате этого уменьшится сила внешнего трения и интенсивность тепловыделения, увеличится время смазывания до схватывания во фрикционном контакте [2].

В отличие от углеводородных ТМ растительные масла кислородосодержащие поверхностно-активные вещества. При наличии их в углеводородных моторных топливах они способны создавать адсорбционные пленки на стенках камеры сгорания и зеркале цилиндра. Это снизит отвод тепла в систему охлаждения и потери на трение, из-за наличия в пристенной зоне кислорода более полно сгорит обогащенная рабочая смесь, повысится топливная экономичность и экологическая безопасность двигателя.

На основании теоретических предпосылок с целью оценки уровня триботехнических показателей проведены сравнительные испытания минеральных и растительных масел, а также их смесей с бензином в соотношении 1:15, на роликовой машине трения 2070-СМТ и пусковом двигателе ПД-10У. При испытании на машине трения взяты три нетрадиционных растительных

масла: рапсовое, льняное и сурепное; два минеральных масла: моторное М-10Г<sub>2</sub>К и трансмиссионное ТМ-5-18. В каждом опыте ведущий и ведомый ролики, соответственно, с диаметрами 50 и 35 мм смазывались испытуемым маслом в объеме 0,02 мл и нагружались до 1000 кН при линейной скорости в контакте 3,14 м/с. В процессе опыта поверхностной скользящей термпарой, установленной на ведущем ролике у выхода из зоны трения, замерялся потенциал и записывалась диаграмма его во времени, по которой с градуировочного графика определялась поверхностная температура. Опыт продолжался до резкого повышения линий диаграммы при появлении просветленных полос на роликах в момент разрушения смазочного слоя и начала схватывания поверхности трения роликов.

Результаты экспериментов с трехкратной повторностью опытов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Триботехнические показатели масел

Показатели	Масло				
	Рапсовое	Льняное	Сурепное	М-10Г <sub>2</sub> К	ТМ-5-18
1. Время опыта до начала схватывания поверхности трения роликов, с	623	267	664	624	485
2. Температура поверхности трения ведущего ролика, °С	172	165	196	286	213

Результаты триботехнических показателей бензино-масляных смесей приведены в таблице 2.

Таблица 2

Триботехнические показатели бензино-масляных смесей

Показатели	Смесь бензина А-76 с маслами:			
	Рапсовое	Льняное	Сурепное	М-10Г <sub>2</sub> К
1. Время опыта до начала схватывания поверхности трения роликов, с	300	206	307	313
2. Статический момент прокручивания КШМ двигателя ПД-10У, Нм	2,5	3,5	3,6	4,5
3. Герметизирующие свойства в сопряжении гильза – кольца – поршень – двигателя ПД-10У, с	881	858	915	880
4. Уровень пусковых свойств, %	100	85	31	54

По результатам испытаний масел на машине трения 2070-СМТ время опыта до начала схватывания поверхностей роликов большее у сурепного и меньшее у льняного масел, а у рапсового и моторного М-10Г<sub>2</sub>К масел практически равная, но больше чем у трансмиссионного ТМ-5-18 масла в 1,3 раза. Температура поверхности трения ведущего ролика у масла М-10Г<sub>2</sub>К значительно выше, чем у ТМ-5-18 и у растительных масел. Поэтому можно заключить о высоком уровне триботехнических показателей сурепного и рапсового масел по сравнению с минеральными: моторным и трансмиссионным и рекомендовать их к применению в автотракторной технике.

По результатам испытания на машине трения 2070-СМТ смесей бензина А-76 соответственно с маслами рапсовым, сурепным и М-10Г<sub>2</sub>К в пределах ошибки опытов не различаются по времени до начала схватывания поверхностей трения роликов. Время смазывания роликов смесью бензина с льняным маслом в 1,5 раза меньше, чем на других испытуемых смесях по причине повышенной испаряемости этого масла и бензина. По другим триботехническим показателям меньший статический момент прокручивания и высший уровень пусковых свойств получены на бензино-рапсовой смеси. Несколько выше герметизирующие свойства у бензино-сурепной смеси. Смесь бензина А-76 с моторным маслом М-10Г<sub>2</sub>К имеет более высокий статический момент прокручивания КШМ и ниже уровень пусковых свойств, примерно в 1,8 раза по сравнению с бензино-рапсовой смесью.

В целом теоретические предпосылки и результаты экспериментальных исследований триботехнических показателей минеральных и растительных масел и их смесей с углеводородным

топливом позволяют заключить о социальной, технической и экологической эффективности применения рапсового масла и бензино-рапсовой смеси в автотракторной технике.

#### Библиографический список

1. Фомин, В.М. Использование рапсового масла в качестве моторного топлива для дизелей / В.М. Фомин, И.В. Ермолович, Халиль, А. Сатер // Тракторы и сельхозмашины. – 1997. – №5. – С.11-12.
2. Евдокимов, А.Ю. Смазочные материалы на основе растительных и животных жиров / А.Ю. Евдокимов, И.Г. Фукс, Л. Н. Багдасаров. – М. : ЭКОХИМТ (ЦНИИТЭИМС), 1992. – 50с.

УДК 621.4

Цыпцын В.Н. д.т.н., профессор; Легошин Г.М. к.т.н.; Нагманов К.Г. аспирант (Саратовский ГАУ)

## БИРАЗДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА ТОПЛИВОПОДАЧИ

*Рассмотрены методы улучшения смесеобразования в дизельных двигателях, обеспечивающих улучшение динамических, экономических и экологических показателей при разных условиях эксплуатации.*

*In this article the methods of diesel engines mixture formation improvement are considered, providing the dynamic, economic and ecological parameters improvement for different operation conditions.*

В последнее десятилетие развитие автотракторного дизелестроения в большой степени стало определяться постоянно ужесточаемыми законодательными нормами на дымность, токсичность отработавших газов, уровень шума и стремлением к повышению топливной экономичности. В мире насчитывается около 1,5 млрд. единиц автотракторной техники и ее количество увеличивается на 50 млн. единиц в год. Данная техника, работая в контакте с окружающей средой, подвергает ее техногенному воздействию, что в свою очередь ведет к значительным изменениям естественных экологических систем.

По оценке специалистов суммарная масса выбросов всех дизелей, находящихся в странах СНГ, составляет 14...18 млн. т в год. Эти выбросы чрезвычайно опасно действуют на здоровье людей и животных, приводят к снижению урожайности, продуктивности животноводства, разрушению строительных материалов, повышенным концентрациям вредных веществ в кабинах мобильной техники и помещениях цехов. Перечисленные негативные факторы и связанное с ними ужесточение норм на токсичность (введение в РФ норм Евро – 2, Евро – 3 и т.д.) обуславливают необходимость разработки, совершенствования и внедрения средств снижения токсичных веществ в отработавших газах (ОГ) дизелей, обладающих высокими показателями по очистке и ресурсу работы, а также минимальным воздействием на эксплуатационные показатели мобильной техники.

Анализ характеристик отечественных транспортных и тракторных дизелей показывает, что большинство этих двигателей не удовлетворяет современным требованиям норм по выбросам вредных веществ с отработавшими газами. Вместе с тем, проектирование и производство новых дизелей требует огромных затрат. В этой связи представляет интерес решение указанных проблем на основе модернизации базовых дизелей. В этом случае улучшение технико-экономических и экологических показателей может обеспечиваться модернизацией двигателя на основе использования более совершенных конструкций отдельных узлов и агрегатов, определяющих качество рабочего процесса.

Наиболее эффективным средством воздействия на рабочий процесс дизеля с целью улучшения экологических показателей является совершенствование процесса топливоподачи (ТП) в комплексе со смесеобразованием и управление этим процессом в соответствии с режимом работы двигателя. Используемые в тракторных дизелях топливоподающие системы (ТПС) с кулачковым приводом, как с механическими, так и электронными регуляторами, практически исчерпали резервы оптимизации параметров впрыскивания и не позволяют в полной мере выполнить требования, предъявляемые к топливной аппаратуре (ТА) на современном этапе.

Актуальными в этой связи являются биразделенные системы топливоподачи [1, 2].

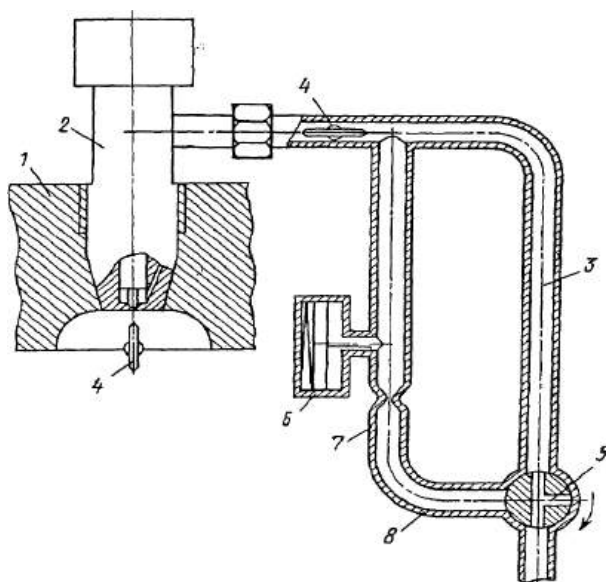


Рис. 1. Схема подготовки топливной смеси

области низкого давления, причем клапан и дозатор вещества последовательно соединены по схеме байпасной линии перед активаторами и выполнены с возможностью включения во время запуска двигателя и автоматического отключения байпасной линии после запуска двигателя, а клапан выполнен с возможностью переключения в положение работы байпасной линии.

Топливная система дизельного двигателя содержит головку блока цилиндров 1, цилиндры с форсункой 2, одна часть топливопровода 3 соединена через активатор 4, а другая часть – через клапан 5, дозатор 6 с органической жидкостью, снижающей вязкость дизельного топлива. Вторая часть топливопровода выполнена в виде сопла 7, причем дозатор 6 и часть топливопровода в виде сопла 7 соединены между собой по схеме байпасной линии 8. После прогрева дизельного двигателя клапан 5 переключают в положение работы байпасной линии 8. При этом в части топливопровода, выполненной в виде сопла 7, из-за пониженного давления происходит микронатекание в топливопровод из дозатора 6 органической жидкости, что облегчает запуск двигателя. После запуска двигателя байпасная линия 8 автоматически отключается, и топливная система дизельного двигателя работает в режиме прямотока.

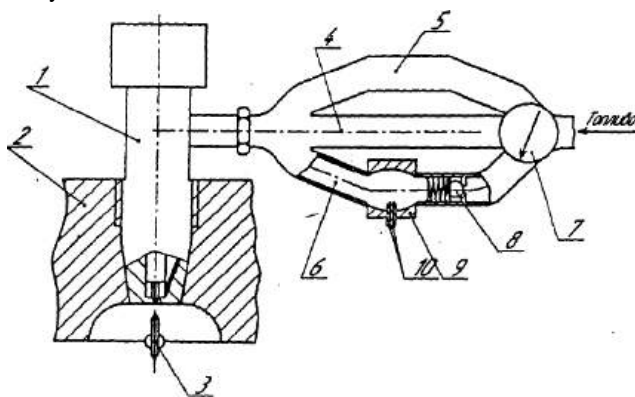


Рис. 2. Схема активации смесеобразования

головке блока 2 цилиндров двигателя, активатор 3, топливопровод 4, который снабжен на участке перед форсункой основной байпасной линией 5 и «дополнительной байпасной линией» 6, в месте включения которых в топливопровод 4 установлен регулирующий клапан 7. Кроме этого, в дополнительную байпасную линию 6 включены обратный клапан 8 и вставка 9 с высоковольтными электродами 10. Причем внутренняя геометрия вставки 9 спрофилирована в виде параболоида вращения.

Регулирующий клапан 7 устанавливают в положение "Открыто" для дополнительной байпасной линии 6 и "Закрыто" для остальных магистралей (топливопровода 4 и основной

На рисунке 1 представлена схема топливоподдачи, обеспечивающая снижение энергозатрат при запуске дизельных двигателей, снижение расхода дизельного топлива и расширение технологических возможностей за счет гарантированного запуска дизельного двигателя при низких температурах окружающей среды.

Поставленная задача решается следующим образом. В топливную систему дизельного двигателя, содержащую топливный бак, фильтр, насос, предпусковой подогреватель двигателя, форсунку, закрепленную на головке блока цилиндров, активаторы дизельного топлива и топливопровод, дополнительно введены клапан, дозатор вещества, снижающего вязкость. При этом часть топливопровода выполнена в виде сопла, а дозатор вещества, снижающего вязкость, расположен в части сопла топливопровода в

В качестве органического вещества, снижающего вязкость дизельного топлива, в дозаторе может быть использована, например, полимерная добавка на основе спиртового раствора полиэтиленоксида с концентрацией 0,001...0,002%, снижающая вязкость на 30...40%.

Топливная система с активацией смесеобразования (рис. 2) содержит топливный бак, фильтр, насос, предпусковой подогреватель двигателя, активаторы дизельного топлива, а также форсунку 1, закрепленную на

байпасной линии 5). После прогрева запускают двигатель и подают постоянное высокое напряжение на высоковольтные электроды 10 вставки 9. Согласно устройству вставки 9 на основе (при электрическом взрыве) эффекта Юткина [3] в месте соединения топливопровода 4 с байпасными линиями 5 и 6 непосредственно перед форсункой создается регулируемый электрогидравлический удар, резко повышающий давление в топливе. На этом участке топливопровода формируется кумулятивная струя за счет внутренней геометрии вставки 9 (параболоид вращения), обеспечивающая эффективное распыление дизельного топлива. Для эффективной работы вставки 9 в дополнительную байпасную линию б введен обратный клапан 8, обеспечивающий эффективную подачу дизельного топлива и герметизацию внутренней полости вставки 9 при электрогидравлическом ударе. После запуска двигателя регулирующий клапан 7 ставят в положение "Открыто" для топливопровода 4 и "Закрыто" для байпасных линий 5 и 6.

Причем для снижения износа топливопровода из-за ударной нагрузки электрогидравлический удар (эффект Юткина) используется только в момент запуска холодного двигателя, чтобы подать загустевшее на холоде дизельное топливо в форсунку. Величина электрогидравлического удара может быть регулирована и зависит, в частности, от величины напряжения, площади электродов, расстояния между ними и т.д. В реальной конструкции целесообразно варьировать только величиной, длительностью и формой импульса подаваемого на них напряжения. Блок электроники может быть выполнен, например, в виде различных типовых электронных устройств, преобразующих в момент запуска двигателя постоянное напряжение аккумуляторных батарей в импульсное напряжение требуемой величины и формы [3], а также высоковольтные устройства, используемые в современных автомобилях.

Согласно предлагаемому устройству, облегчение подачи загустевшего при отрицательных температурах окружающей среды дизельного топлива в форсунку при запуске двигателя за счет создаваемого в части топливопровода регулируемого электрогидравлического удара обеспечивает достижение поставленной цели.

В данном техническом решении появляется также возможность управления вязкостью дизельного топлива при низких температурах.

#### Библиографический список

1. Пат. 1447006 Российская Федерация, МКИ F 02 N 17/02 / Блохин А.И. – БИ №5, 1996.
2. Пат. 2172424 Российская Федерация, МКИ P 02 M 53/02 / Шумарин В.П., Скрипкин. А., Коблов А.И., Денисов А.А. – БИ №23, 2001.
3. Юткин, Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. – Л. : Машиностроение, 1986. – 252 с.

УДК 681.121

Переверзов В.Д. к.т.н.; Кирсанов Р.Г. к.ф.-м.н., доцент; Переверзов В.В. студент

### О ВЫБОРЕ КОНСТРУКЦИИ ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОГО РАСХОДОМЕРА ТОПЛИВА

*В статье приводятся результаты теоретических исследований по вопросу выбора оптимальной конструкции первичного преобразователя калориметрического расходомера, обоснован выбор материала нагревателя – датчика температуры, рассчитаны его параметры – чувствительность и инерционность.*

*The article depicts the results of theoretical researches on a question of primary transformer calorimetric mass flowmeter construction optimum sampling warmer metal selection – thermometer, its sensitivity and inertial parameters are calculated.*

Внедрение современных ресурсосберегающих технологий и точного земледелия в сельское хозяйство невозможно без развития оптимального управления и регулирования существующими средствами механизации в растениеводстве.

Отсутствие первичных преобразователей малых расходов топлива, отвечающих метрологическим и эксплуатационным требованиям для целей оптимального управления и регулирования мобильными сельскохозяйственным агрегатами, делает актуальным вопросы исследования и разработки их новых конструкций. Исследуя методы и способы формирования измерительного сигнала в первичных преобразователях малых массовых расходов жидкости, авторами сделана попытка проанализировать возможность применения для этих целей калориметрического способа.

Калориметрический способ измерения массового расхода основан на определении расхода через параметры теплообмена между нагретым телом, далее нагревателем, и потоком измеряемой жидкости. Известны калориметрические расходомеры двух типов: 1) основанные на измерении температуры потока жидкости до и после нагревателя (требуют больших затрат энергии на нагрев потока); 2) основанные на измерении количества тепла, теряемого непрерывно нагреваемым или предварительно нагретым телом в потоке жидкости.

Рассмотрим процесс теплообмена между нагревателем и потоком жидкости. Пусть процесс нагрева тела осуществляется постоянным электрическим током, тогда количество теплоты  $Q_{\Sigma}$ , выделяемое нагревателем равно:

$$Q_{\Sigma} = 0,239 \cdot I^2 \cdot R \cdot t, \quad (1)$$

где  $I$  – сила тока, проходящего через нагреватель, А;  $R$  – сопротивление нагревателя, Ом;  $t$  – время нагрева, с.

Количество теплоты  $Q_{ж}$ , отдаваемое телом нагретым до температуры  $T_H$ , потоку жидкости, имеющему скорость  $V$  и температуру  $T_{ж}$ , определяется уравнением [3]:

$$Q_{ж} = (T_H - T_{ж}) F (\lambda + K \sqrt{\rho V}) t, \quad (2)$$

где  $F$  – площадь контакта нагревателя с жидкостью, м<sup>2</sup>;  $\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $V$  – скорость потока жидкости, м/с;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/м·К;  $K$  – коэффициент, зависящий от формы нагревателя.

Приравнявая (1) и (2) получим уравнение теплового баланса, т.е. потеря тепла в единицу времени нагревателем равна теплу, полученному потоком жидкости в единицу времени:

$$0,239 \cdot I^2 R_0 [1 + \alpha(T_H - T_{ж})] = (T_H - T_{ж}) F (\lambda + K \sqrt{\rho V}), \quad (3)$$

где  $R_0$  – сопротивление проволоки при  $T_H = T_{ж}$ ,  $R_0 = \rho_{\Sigma} l / A$ ;  $\rho_{\Sigma}$  – удельное сопротивление проволоки нагревателя, Ом·см;  $l$  – длина, м;  $A$  – площадь сечения, см<sup>2</sup>;  $\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления материала проволоки нагревателя, град<sup>-1</sup>.

Из вышеизложенного следует, что калориметрический расходомер измеряет массовый расход жидкости.

Точность измерения расхода жидкости во многом зависит от того, какая модель процесса теплопередачи будет заложена в основу работы прибора.

Так как расход топлива энергосредством при выполнении им технологического процесса является квазистационарным процессом и цель измерения – это получение средних его оценок при реализациях большой длительности в условиях реального времени, выберем стационарную модель теплопередачи «нагреватель-поток жидкости» при

$$(T_H - T_{ж}) = \Delta = const. \quad (4)$$

Примем следующие допущения: действие локальных источников джоулевой теплоты (участков проволоки нагревателя) заменим полным тепловыделением нагревателя; электрическое сопротивление проволоки нагревателя однозначно соответствует его средней температуре.

Таким образом, сделав эти допущения, мы выбираем совмещенное исполнение нагревателя, т.е. «нагреватель – датчик температуры».

Чувствительные элементы калориметрических датчиков, как правило, изготавливаются из проволоки, материал которой обладает высоким температурным коэффициентом. Проведем сравнительный анализ материала датчиков для получения максимальной чувствительности расходомеров по теплопроводности.

Запитаем термодатчик нагревателя от генератора импульсного тока стабильной амплитуды  $I_0$ . С целью реализации условий инвариантности выходного сигнала к температуре

измеряемого потока жидкости образуем параллельный идентичный канал преобразования. Для нашей схемы выходной сигнал, представляющий разность напряжений этих двух каналов, будет определяться выражением

$$\Delta U = I_0 \frac{\rho_{\Sigma} l}{A} [1 + \alpha (T_H - T_{Ж})]. \quad (5)$$

Чувствительность в данном случае можно записать как

$$S = \frac{dU}{dT} = I_0 \frac{l}{A} \cdot \alpha \cdot \rho_{\Sigma}. \quad (6)$$

Видно, что чувствительность первичного преобразователя пропорциональна произведению удельного сопротивления и температурного коэффициента материала проволоки.

В таблице 1 приведены удельные сопротивления при 0° и температурные коэффициенты в интервале температур 0...100°С для ряда материалов, а также значение произведения этих величин [1].

Из таблицы 1 следует, что перспективными по критерию чувствительности (определяемому удельным сопротивлением металла) являются висмут, сурьма, титан и цирконий. Чувствительность первичных преобразователей с применением этих материалов превосходит в 3...10 раз чувствительность преобразователей, построенных с применением меди, никеля, палладия и железа.

Однако, невозможно применение всех перечисленных перспективных материалов при построении первичных преобразователей массового расхода жидкости. Критериями, ограничивающими применение, являются низкая химическая стойкость, малая температура плавления и прочность. Так, например, висмут имеет малую низкую температуру плавления (271°С) и малую прочность. Сурьма имеет те же недостатки. Следует учитывать и наличие промышленно выпускаемых проволок (из этих материалов) малых диаметров 0,05...0,15 мм.

Таблица 1

Удельные сопротивления и температурные коэффициенты проволоки

Металл	$\rho \cdot 10^6$ Ом·см	$\alpha \cdot 10^4$ град <sup>-1</sup>	$\alpha \rho \cdot 10^{10}$ Ом·см·град <sup>-1</sup>
Висмут	107	40	4940
Железо	8,9	65	578
Медь	1,56	43	67
Никель	6,14	68	418
Палладий	10,0	38	380
Платина	9,81	39,2	385
Сурьма	39,0	51	1990
Титан	50,0	38	1900
Цирконий	40,0	44	1760

Учитывая технологичность в сваривании и пайке, получим, что наиболее подходящим материалом для изготовления первичных преобразователей является цирконий, который позволяет увеличить чувствительность в 4,5 раза по сравнению с платиной.

Применяя выражение (3) проведем оценочный расчет конструктивных параметров первичного преобразователя, выполненного из циркониевой проволоки диаметром  $d = 0,1$  мм, свитой особым образом так, чтобы витки неоднократно пересекали поток жидкости в разных скоростных слоях. Считая длину проволоки  $l = 1,0$  м и принимая параметр интенсивности теплообмена – градиент температур равным  $\Delta = T_H - T_{Ж} = \text{const} = 10^\circ\text{C}$ , получим для случая  $V = 0$ :  $R_0 = 50$  Ом;  $I = 0,17$  А;  $U = 8,5$  В;  $P = 1,445$  Вт;  $\Delta U = 0,374$  В.

При разрешающей способности компаратора равной 1,0 мВ, точность отслеживания градиента температур составит 0,27%, что потенциально позволяет получить погрешность измерения расхода жидкости в пределах 1,0...1,5%.

В неустановившемся режиме уравнение (3) теплового баланса проволоки нагревателя ( $V$  – переменное), имеет вид [3]:



$$ms \frac{dT_H}{dt} + (T_H - T_{ж}) F(\lambda + K\sqrt{\rho V}) = 0,239 I^2 R_0 [1 + \alpha(T_H - T_{ж})], \quad (7)$$

где  $m$  – масса проволоки нагревателя;  $s$  – удельная теплоемкость материала проволоки.

Пусть  $I = const$ ,  $V = const$  и  $\frac{dR}{dt} = 0$ , тогда постоянная времени  $\tau$  первичного преобразователя будет иметь вид [3]:

$$\tau = \frac{4,2ms(T_H - T_{ж})}{I^2 R_v}. \quad (8)$$

Подставляя в (8) значения  $m = 0,05$  г.,  $s = 0,068 \frac{\text{кал}}{\text{г} \cdot \text{град}}$  и  $\Delta = 10^\circ\text{C}$  получим постоянную времени  $\tau = 0,1$  с, а время переходного процесса  $3\tau = 0,3$  с.

Таким образом, приведенный расчет выходных параметров первичного преобразователя по чувствительности, выходному сигналу и постоянной времени для выбранной конструкции и материала датчика температуры, соответствует метрологическим требованиям, необходимым для измерения массового расхода топлива при эксплуатационных испытаниях мобильных сельскохозяйственных агрегатов.

#### Библиографический список

1. Груздев, В.А. Калориметрический метод измерения малых расходов газов // Измерительная техника. – 1968. – №11 – С.34 – 36.
2. Кочеров, Л.Е. К вопросу о выборе материала для чувствительных элементов газоанализаторов теплопроводности // Приборы и системы управления. – 1968. – №9 – С.24-26.
3. Кремлевский, П.П. Расходомеры. – Л.: Машгиз, 1964. – 120 с.
4. Царицын, А.А. Расходомер типа – тепловой мост / А.А. Царицын, Ю.М. Звягинцев // Приборы и системы управления. – 1978. – №8. – С. 67-71.

УДК 628.83

Музыкантов И.П. соискатель (Усольский сельскохозяйственный колледж, Самара)

## ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ТРАКТОРНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ТРАНСМИССИЙ

*В статье рассматриваются способы сохранения и обеспечения работоспособности резиносодержащих уплотнений силовых передач в процессе эксплуатации тракторов использованием герметизирующих добавок к маслам.*

*In article power transfers rubber condensation serviceability preservation ways are considered, while tractors with condensing additives to oils using utilization.*

Одним из новых и перспективных направлений в современном техническом сервисе машин является использование смазочных материалов и рабочих жидкостей для повышения надежности и долговечности, сохранения и безразборного восстановления работоспособности различных систем, агрегатов и узлов.

В России и за рубежом разрабатывают, активно предлагают и внедряют средства, позволяющие в процессе непрерывающейся эксплуатации частично восстанавливать изношенные поверхности трения, повышать износостойкость и улучшать другие технико-экономические показатели, не производя полной разборки сборочных единиц и агрегатов. Это маталлоплакирующие и металлокерамические материалы, полимерсодержащие и слоистые добавки, кондиционеры и рекондиционеры поверхностей, комбинированные препараты и тому подобное [1]. Действие таких средств основано на введении в зазоры трущихся деталей

специальных технологических сред, содержащих соединения металлов, полимерсодержащие и слоистые модификаторы трения, органические и другие поверхностно-активные вещества, как в чистом виде, так и вместе с маслом, пластичной смазкой, топливом или охлаждающей жидкостью.

Однако, главным условием длительной и надежной работы агрегатов и узлов, а также эффективности применения различных методов и средств безразборного ремонта является исправное состояние герметизирующих уплотнительных устройств. Наличие течи и значительных потерь смазочных масел может привести к выносу частиц компонентов восстановителя и снижению ожидаемых результатов их воздействия. Повышенный газообмен в полости агрегата, как следствие нарушения его герметичности, вызывают ускоренное загрязнение смазочного масла абразивными примесями, что вызывает усиленное изнашивание деталей. Попадание влаги в большинство металлоплакирующих и молибденсодержащих материалов приводит не только к значительному снижению их смазочных свойств, но и к усилению коррозионных процессов в трущихся соединениях, что наиболее нежелательно в различных подшипниковых узлах трансмиссии и ходовых систем автотракторной техники [2].

Отдельного внимания при этом заслуживают восстановители герметичности агрегатов машин. Данные препараты содержат специальные кондиционеры резинотехнических и других полимерных материалов, которые при добавлении в гидроусилитель руля, коробку передач и другие агрегаты не только придают смазываемым соединениям высокие защитные свойства, но и эффективно устраняют течи смазочных материалов через фланцевые и торцевые, сальниковые и манжетные уплотнения.

Таким образом, учитывая способность смазочных материалов оказывать защитное и формирующее действие на поверхности деталей, трансмиссионные масла можно рассматривать как инструмент для проведения профилактических и ремонтно-восстановительных мероприятий.

Для обеспечения работоспособности герметизирующих уплотнительных устройств механических трансмиссий возможно использование специальных герметизирующих добавок в смазочные масла отдельных агрегатов [3].

Восстановитель герметичности механической трансмиссии "FENOM manual transmission sealer – FN 079" (Россия) – высокоэффективный ремонтный состав. Устраняет течи через сальники и другие резиносодержащие уплотнения агрегатов механической трансмиссии. Добавляется в коробку перемены передач, картер главной передачи (мост), раздаточную коробку. Используется с любыми типами трансмиссионных масел. Восстанавливает эластичность и вызывает набухание сальников, компенсирующее их износ. Эффективен как профилактическое средство, снижающее интенсивность старения и изнашивания исправных сальников. Препарат добавляется в картер агрегата в соотношении 70...90 мл препарата на 1 л масла (для профилактики 35...45 мл на 1 л масла). Состав содержит герметизирующие ингредиенты, маслораспределитель класса API GL – 5 и кондиционер металла FENOM, придающий препарату уникальные противозадирные и защитные свойства, позволяющие его применять для высоконагруженных пар зацепления, в том числе гипоидного типа.

Герметик механической трансмиссии "MANNOL – estocada 9968" (Германия) является специальной добавкой в трансмиссионное масло, которая устраняет течи через сальники и другие резиносодержащие уплотнения агрегатов механической трансмиссии, вызванные их старением и отвердеванием. Содержит компоненты, восстанавливающие прокладки и сальники до их первоначальной формы и эластичности. Предотвращает течь масла при отсутствии механических повреждений. Герметик применим также как профилактическое средство, замедляющее процесс старения и изнашивания исправных сальников и манжет. Совместим с любыми типами трансмиссионных масел для механических коробок передач. Добавляется в коробку передач, картер главной передачи, раздаточную коробку в расчете 30...35 мл на 1 л масла.

Ремонтные герметики для двигателей "HI-GEAR leaks no more – HG 2235" и "STEP UP engine oil stop leak – SP(HG) 2237" (США) также могут успешно использоваться для устранения течей через сальники, манжеты и прокладки механических коробок передач, восстанавливая их размеры и эластичность. Составы содержат дисциллаты нефти и совместимы

со всеми типами масел (кроме АКПП). При использовании продлевают срок службы агрегатов, что позволяет избежать дорогостоящих ремонтов. Данные препараты заливаются в агрегаты трансмиссии в пропорции к маслу 1:5. После остановки течей масло необходимо сменить.

Использование герметизирующих добавок как ремонтно-профилактических средств возможно в составе биоминеральных (компаундированных) масел.

При использовании растительных жиров в качестве смазочных материалов важны не только их биоразлагаемость и отсутствие токсичности, но также физико-химические и эксплуатационные свойства. И хотя низкая стабильность биомасел при высоких температурах требует применения моюще-диспергирующих присадок, многочисленные исследования показали, что по трибологическим свойствам растительные жиры и их производные значительно превосходят нефтяные масла. Кроме того, высокая смазочная способность сложных эфиров дает возможность уменьшить использование химически активных присадок, что существенно увеличивает экологические преимущества растительных масел. Отмечается и то, что растительные масла обладают улучшенным теплоотводом в узлах трения [5].

В настоящее время применение растительных жиров в качестве смазочных материалов ограничено вследствие их сравнительно невысокой антиокислительной и гидролитической стабильности. Таким образом, замена нефтяных масел на растительные наиболее целесообразна в том случае, когда срок их использования в смазочных системах по времени ограничен.

С современной точки зрения в качестве основы или компонента смазочного материала для альтернативного использования в агрегатах трансмиссии оптимальным вариантом по доступности, физико-химическим характеристикам и трибологическим свойствам является рапсовое масло.

Исследования показали [4], что при сравнении совместимости с резиной марки УИМ-1 изменение объема при испытании растительного смазочного материала на 9% меньше, чем при испытании товарного масла ТЭп-15 (ТМ-2-18). Меньшее значение изменения объема объясняется наличием рапсового масла в составе растительного смазочного материала, при испытании которого изменение объема на 17,3% меньше, чем у растительного смазочного материала. Также установлено, что рапсовое масло не содержит ароматических соединений, способствующих набуханию маслостойких резин, а также серы и хлора, которые негативно влияют на работу металлополимерных узлов трения [5].

Таким образом, предполагается, что использование рапсового масла в качестве основы ремонтно-профилактических средств безразборного сервиса машин позволит снизить негативное влияние отдельных элементов, входящих в состав минеральных масел, а применение специальных герметизирующих добавок и легирующих присадок в его составе позволит увеличить ресурс резинополимерных уплотнительных устройств.

Однако использование указанных герметизирующих составов в смазочных маслах на растительной основе для тракторных силовых передач имеет определенные противоречия и недостатки, для выявления и устранения которых потребуется проведение специальных научных экспериментов и производственных испытаний.

#### Библиографический список

1. Гамидов, А.Г. Безразборное восстановление трущихся соединений тракторов и автомобилей // Технический сервис в агропромышленном комплексе. – 2004. – №-1(6). – С.50-53.
2. Балабанов, В.И. Трение, износ, смазка и самоорганизация в машинах / Балабанов В.И., Беклемышев В.И., Махонин И.И. – М. : Изумруд, 2004. – 192 с. : ил.
3. Все для авто [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.agah.ru>. AGA.
4. Ленивцев, Г.А. Рекомендации по использованию масел в энергонасыщенной сельскохозяйственной технике / Ленивцев Г.А., Глазков В.Ф., Болдашев Г.И. [и др.]. – Самара, 2005. – 71 с.
5. Балтенас, Р. Трансмиссионные масла. Пластичные смазки / Балтенас Р., Сафонов А.С., Ушаков А.И. [и др.]. – СПб. : ООО «Издательство ДНК», 2001. – 208 с. : ил.

## **АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МАСЕЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА ANSYS**

*В статье рассмотрено применение метода конечных элементов и работающей на его основе программной среды ANSYS для исследования, анализа и расчета процесса очистки гидравлических масел тракторных гидросистем.*

*This article includes the End Elements Method applying, by ANSYS program pack, for the filtration process in tractors hydraulic system analyzing.*

Развитие техники ставит новые задачи в области исследования работоспособности машин и их элементов. Повышение их надежности и долговечности, являясь важнейшим фактором, определяющим рост конкурентоспособности изделий, связано с определением параметров и основных характеристик их работы.

Наиболее эффективным современным средством достижения поставленной цели является использование метода конечных элементов. Сущность метода состоит в аппроксимации исследуемого тела или процесса некоторой моделью, которая представляет собой совокупность элементов с конечным числом степеней свободы. Эти элементы взаимосвязаны только в узловых точках, куда прикладываются фиктивные силы, эквивалентные поверхностным напряжениям, распределенным по границам элементов [3].

До настоящего времени процесс проектирования гидравлических систем на 99% опирался на эксперимент, в большой степени это так остается и сегодня. Однако дальнейшее повышение качества проектирования и анализа при одновременном сокращении сроков возможно только при использовании современных компьютерных технологий. Метод конечных элементов позволяет значительно сократить объемы дорогостоящих стендовых испытаний.

Один из наиболее эффективных программных пакетов, основанных на методе конечных элементов – это ANSYS. Отдельным классом задач, решаемых в данной среде, являются гидродинамические задачи. Гидрогазодинамический модуль ANSYS/FLOTRAN предоставляет следующие возможности моделирования внешних и внутренних 2-D, 3-D течений: стационарные и нестационарные; сжимаемые и несжимаемые; Ньютоновы и неньютоновы; ламинарные и турбулентные [5].

Надежность тракторных гидросистем определяется степенью очистки рабочей жидкости. Недостатками применяемых в большинстве систем механических фильтров являются их малая грязеемкость, увеличение перепада давления по мере забивания отверстий или пор в перегородке, ограничения по степени загрязненности подаваемого на очистку масла и др. Все это приводит к необходимости периодической замены или регенерации фильтрующего элемента. Следует отметить, что запыленность окружающей среды зачастую настолько велика, что простая замена фильтроэлементов в гидросистемах вносит загрязнений больше, чем изнашивание за все время эксплуатации [2]. Решить задачу необходимого уровня очистки гидравлических масел позволит установка на линию высокого давления роторно-лопастной центрифуги через клапан делителя потока рабочей жидкости. Для проектирования центробежного очистителя, проведения анализа его работы и расчета процесса очистки используем программный пакет ANSYS.

Проведение конечно-элементного расчета для определения гидродинамических характеристик процесса очистки гидравлического масла с помощью блока FLOTRAN пакета ANSYS состоит в прохождении следующих шагов: описание расчетной области (геометрической модели); создание конечно-элементной (сеточной) модели; задание физико-механических параметров потока (вязкость жидкости, ее плотность, температура и т.п.); выбор типа расчета (тип течения, модель вязкости и т.п.); выбор метода решения и расчетных параметров (количество итераций, условия сходимости) решения; исследование результатов с помощью постпроцессора [4].

Приведем дифференциальные уравнения для случая вязкой жидкости.

- 1) Уравнение непрерывности вытекает из закона сохранения массы [1]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \rho \mathbf{v} = 0, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости,  $\mathbf{v}$  – вектор скорости,  $t$  – время.

Скорость изменения плотности заменяется на скорость изменения давления и на скорость изменения плотности по давлению:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\partial \rho}{\partial P} \frac{\partial P}{\partial t}, \quad (2)$$

где  $P$  – давление.

Для данной среды имеет место следующее определение:

$$\frac{\partial \rho}{\partial P} = \frac{1}{\beta}. \quad (3)$$

По умолчанию значение  $\beta$  полагается равным  $10^{15}$ , оно характеризует несжимаемую среду.

- 2) Уравнения движения частицы и сил в центробежном очистителе:

$$\frac{\partial U_{\varphi}}{\partial t} = \omega \cdot r, \quad (4)$$

или

$$U_{\varphi} \frac{\partial U_{\varphi}}{\partial r} = \omega^2 \cdot r. \quad (5)$$

Из уравнений (4) и (5):

$$\int_0^{U_{\varphi}} U_{\varphi} \partial U = \omega^2 \int_{r_1}^r r \partial r. \quad (6)$$

После интегрирования и преобразования получаем

$$U_{\varphi} = \omega \sqrt{r^2 - r_1^2}, \quad (7)$$

где  $U_{\varphi}$  – радиальная скорость движения частицы под действием центробежной силы;  $t$  – время движения частицы;  $r$  – мгновенный радиус вращения частицы;  $\omega$  – угловая скорость вращения частицы, принимаемая равной скорости ротора очистителя:

$$\omega = \frac{\pi n}{30}, \quad (8)$$

где  $n$  – частота вращения ротора очистителя.

На частицу действует центробежная сила

$$P_{\varphi} = \frac{\pi d^3}{6} (\rho_{\varphi} - \rho_{\text{ж}}) \omega^2 r, \quad (9)$$

где  $d$  – эквивалентный диаметр частицы;  $\rho_{\varphi}$  и  $\rho_{\text{ж}}$  – плотность частицы и жидкости.

Сила сопротивления жидкости по Стоксу

$$P_{\text{ж}} = 3\pi(\rho_{\varphi} - \rho_{\text{ж}}) \rho_{\text{ж}} \nu U, \quad (10)$$

где  $U$  – результирующая радиальная скорость движения частицы;

$$U = U_{\varphi} + U_{\text{ж}}, \quad (11)$$

где  $U_{\text{ж}}$  – скорость жидкости;

$$U_{\text{ж}} = \frac{q_{\text{од}}}{4\pi} \frac{r \cdot z}{\sqrt{z^2 - r^2}} \left[ 1 + (1 - 2n) \sum_{n=0}^{\infty} A_n u^n \right] + \frac{q_{\text{ки}}}{4\pi} \left\{ \frac{(r - r_0)}{\sqrt{[(z - z_1)^2 + (r - r_0)^2]^{\frac{3}{2}}}} - \frac{(r - r_0)}{\sqrt{[(z - z_2)^2 + (r - r_0)^2]^{\frac{3}{2}}}} \right\}, \quad (12)$$

где  $z, r$  – цилиндрические координаты;  $q_{од}$  – интенсивность осевого диполя;  $r_d$  – внешний радиус верхнего диска очистителя, равный радиусу кольцевого источника (стока);  $q_{ки}$  – интенсивность кольцевого источника (стока);  $z_1, z_2$  – координаты расположения соответственно источника и стока;  $u$  – переменная:

$$u = \frac{r^2}{z^2 + r^2}; \quad (13)$$

$A_n$  – коэффициенты ряда, определяемые по формуле

$$A_n = \frac{(n-1,5)(n+1)}{n(n+1)} A_{n-1}, \quad (14)$$

где  $n$  – порядковый номер члена ряда.

Ввиду малости скорости жидкости

$$U \cong U_q \cong \omega \sqrt{r^2 - r_1^2}. \quad (15)$$

На частицу действует также сила инерции

$$P_j = \frac{\pi d^3}{6} (\rho_q - \rho_{жс}) j_r, \quad (16)$$

где  $j_r$  – радиальное ускорение частицы.

$$j_r = \frac{\partial U}{\partial t} = \frac{\partial r}{\partial t} \frac{\partial U}{\partial r} = U \cdot \frac{\partial U}{\partial r} = (U_q - U_{жс}) \left( \omega \cdot r + \frac{\partial U_{жс}}{\partial r} \right) \cong \omega^2 r \sqrt{r^2 - r_1^2}. \quad (17)$$

Составим равенство действующих на частицу сил:

$$P_u + P_j = P_{жс}. \quad (18)$$

После подстановки и преобразований получим выражение для определения размера осаждаемых частиц в центробежном очистителе [2]:

$$d = \sqrt{\frac{18\nu}{\left(\frac{\rho_q}{\rho_{жс}} - 1\right) \omega \cdot r}}. \quad (19)$$

3) Уравнение энергии для несжимаемой жидкости формулируется следующим образом:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho C_p T) + \nabla(\rho C_p T v) = \nabla(K \nabla T) + Q_v, \quad (20)$$

где  $C_p$  – коэффициент теплоемкости;  $T$  – температура;  $K$  – коэффициент теплопроводности;  $Q_v$  – мощность объемного источника тепла.

4) Модель турбулентности для расчета коэффициента турбулентной вязкости Zero Equation Model (ZEM), где  $\mu_t$  считается следующим образом:

$$\mu_t = \rho L_s^2 \sqrt{\Phi}, \quad (21)$$

где  $\Phi$  – тензор вязкой диссипации;

$$L_s = \begin{cases} L_x & \text{если } L_x > 0 \\ \min \left\{ 0,4 L_n, 0,09 L_c \right\} & \text{если } L_x \leq 0, \end{cases} \quad (22)$$

где  $L_x$  – масштаб длины;  $L_n$  – кратчайшее расстояние от узла до ближайшей границы;  $L_c$  – характеристический масштаб длины.

В начальной стадии моделирования строятся физическая и геометрическая модели центрифуги и задаются параметры системы [5]. Таким образом, при правильной интеграции законов движения твердых частиц, ресурсы программной среды ANSYS дают широкие возможности для глубокого исследования и анализа процесса центробежной очистки гидравлических масел.

#### Библиографический список

1. Ибяттов, Р.И. Методы расчета гидромеханических процессов при фильтровании и центрифугировании суспензий : дис. д-ра техн. наук. – Красноярск : КГТУ, 2005.
2. Капустин, Р.П. Определение тонкости очистки рабочей жидкости в центробежном очистителе // Актуальные проблемы лесного комплекса : сб. науч. трудов БГИТА. – Брянск, 2005. – С.25-28.
3. Чигарев, А.В. ANSYS для инженеров : справочное пособие / Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. – М. : Машиностроение-1, 2004. – 512 с.
4. ANSYS. Basic Analysis Procedures Guide. Rel. 5.7 Ed. P.Kothnke / ANSYS Inc. – Houston, 2001.
5. [www.ansysolutions.ru](http://www.ansysolutions.ru) [электронный ресурс].

УДК 621.89

Гужин И.Н. к.т.н., доцент; Янзин В.М. к.т.н., доцент; Кузнецов С.А. к.т.н., доцент

### ОРГАНИЗАЦИЯ СНАБЖЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТАМИ В УСЛОВИЯХ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО ХОЛДИНГА

*Рассмотрены особенности организации снабжения нефтепродуктами сельскохозяйственных предприятий, входящих в агропромышленный холдинг.*

*Farm enterprise fuel and lubricant provision organizing particularities are considered, falling into agroindustrial holding.*

Снабжение сельскохозяйственных предприятий топливо-смазочными материалами является важнейшей производственной задачей. От своевременного обеспечения топливом и смазочными материалами машинно-тракторного парка и других потребителей зависит успешное функционирование хозяйства. От правильного выбора схемы снабжения нефтепродуктами и применяемого технологического оборудования зависят затраты на доставку, хранение и заправку техники, что в конечном итоге сказывается на прибыльности предприятия в целом. Снабжение топливо-смазочными материалами в условиях агропромышленного холдинга имеет ряд особенностей, поэтому рассмотрение вопросов, связанных с организацией снабжения является актуальным.

С приходом в село частных компаний, имеющих финансовые средства, произошло перераспределение имеющихся средств производства, земель, имущества убыточных предприятий: фермерских хозяйств, бывших колхозов и совхозов. Были образованы агропромышленные холдинги, сочетающие в себе функции производства, переработки и, самое главное, реализации сельскохозяйственной продукции. Объединение в холдинг позволяет реализовывать единый подход к управлению структурами входящих в него предприятий, осуществлять контроль за производственной деятельностью, централизовано решать вопросы авансирования, снабжения сельхозпроизводителей семенами, топливо-смазочными материалами, минеральными удобрениями, средствами защиты растений, сельскохозяйственной техникой и запасными частями к ней [2]. Появилась возможность совершенствования обеспечения нефтепродуктами предприятий, входящих в агрохолдинг, за счет упорядочения нефтехозяйства, выбора рациональной схемы централизованной доставки, оптимизации структуры автотранспортных средств доставки и рационального использования заправочных агрегатов.

В среднем, за 1992-2004 гг. удельный вес затрат на приобретение топливо-смазочных материалов в себестоимости продукции сельскохозяйственных предприятий составил 31,9%, а относительно выручки за реализованную продукцию – 42,4%, что составило фактически половину выручки [1]. Снизить затраты на приобретение и хранение нефтепродуктов возможно за счет оптимизации работы нефтехозяйства.

В условиях агрохолдинга схема снабжения нефтепродуктами предприятий может быть следующей (рис.1).

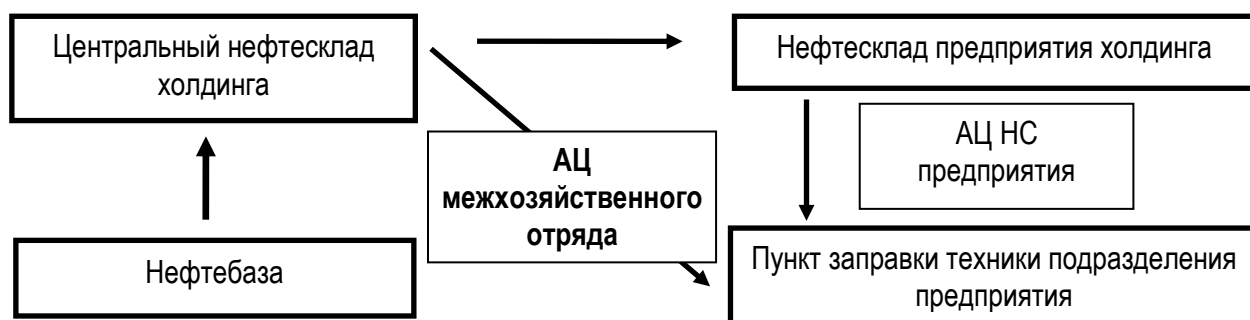


Рис. 1. Схема организации снабжения нефтепродуктами в условиях агрохолдинга:  
АЦ – автоцистерна; НС – нефтесклад

На центральном предприятии агрохолдинга организуется центральный нефтесклад для хранения страховых запасов нефтепродуктов на случай перерывов в поступлении топлива с нефтебазы снабжения, а на предприятиях агрохолдинга – распределительные нефтесклады предприятий.

Вместимость резервуаров для топлива нефтесклада предприятия определяют по следующей зависимости:

$$V = \frac{(S + Q_C (t_{\text{откл}} + \Pi_{\text{дос}})) \cdot (1 + \kappa_3)}{\rho_T \cdot f}, \quad (1)$$

где  $S$  – страховой запас нефтепродуктов,  $\text{м}^3$ ;  $Q_C$  – средний суточный расход топлива за год,  $\text{кг}$ ;  $\Pi_{\text{дос}}$  – периодичность доставки нефтепродуктов, дней;  $t_{\text{откл}}$  – отклонение от периодичности доставки, дней;  $\kappa_3$  – коэффициент остаточного запаса нефтепродуктов;  $\rho_T$  – плотность топлива,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $f$  – Коэффициент использования объема емкости.

Страховой запас нефтепродуктов равен:

$$S = Q_C \cdot (\lambda_G - 1) \cdot (t_{\text{откл}} + \Pi_{\text{дос}}), \quad (2)$$

где  $\lambda_G$  – коэффициент неравномерности суточного расхода (для сельскохозяйственных предприятий принимается равным 1,20...1,25).

Объем резервуаров центрального нефтесклада принимается равным среднемесячной потребности в топливе агрохолдинга в целом и сложится из следующих составляющих:

$$V_{\text{НС}} = V_{\text{раст.}} + V_{\text{ж.}} + V_{\text{тр.}} + V_{\text{т.о.}} + V_{\text{пр.}}, \quad (3)$$

где  $V_{\text{раст.}}$  – месячная потребность в топливе растениеводства,  $\text{м}^3$ ;  $V_{\text{ж.}}$  – месячная потребность в топливе животноводства,  $\text{м}^3$ ;  $V_{\text{тр.}}$  – месячная потребность на транспортные работы,  $\text{м}^3$ ;  $V_{\text{т.о.}}$  – месячная потребность в топливе на проведение ТО и ремонта техники,  $\text{м}^3$ ;  $V_{\text{пр.}}$  – потребность в нефтепродуктах на прочие нужды.

В условиях агрохолдинга резервуарный парк центрального нефтесклада и нефтескладов предприятий рассматривается как единый комплекс для размещения и хранения запасов нефтепродуктов. В случае перебоев в поставке топливо-смазочных материалов центральный нефтесклад служит компенсатором всего агропромышленного холдинга, так как позволяет восполнить потребность в топливе предприятий. Как правило, такие перебои возникают в период уборочных работ из-за сезонного колебания цен, что приводит к остановке работ и невозможности собрать или собрать без потерь выращенный урожай. Имея запас нефтепродуктов на центральном складе, предприятия агрохолдинга сохраняют возможность качественно в установленные сроки завершить работы, что сказывается на эффективности работы хозяйства. На центральном нефтескладе организуют лабораторию по контролю качества поставляемых нефтепродуктов, специализированный межхозяйственный отряд автоцистерн и диспетчерскую службу по координации поставок. Лабораторию укомплектовывают необходимым оборудованием для экспресс-контроля топлива и смазочных материалов. Благодаря этому экономятся средства, так как



отпадает необходимость организации лабораторий контроля на предприятиях холдинга. На предприятиях создают пункты заправки техники, как на нефтескладе, так и в подразделениях. На пункты заправки нефтепродукты поступают с распределительного нефтесклада, а в случае перебоев – с центрального нефтесклада холдинга силами специализированного отряда автоцистерн.

Применение централизованной схемы снабжения нефтепродуктами предприятий, входящих в агропромышленный холдинг позволит эффективно перераспределять в случае необходимости нефтепродукты внутри холдинга, снизить удельные затраты на хранение топливно-смазочных материалов, приобретать нефтепродукты по оптовым ценам в периоды их наименьшей стоимости и, самое главное, обеспечить стабильную работу сельскохозяйственной техники за счет бесперебойной поставки качественных нефтепродуктов.

#### Библиографический список.

1. Сазонова, Д.Д. Первоочередные объекты производственной инфраструктуры в фермерских хозяйствах / Сазонова Д.Д., Попова О.Н., Сазонов С.Н. // Техника и оборудование для села. – 2006. – №12. – С. 14-16.
2. Обеспечение АПК горюче-смазочными материалами // Техника и оборудование для села. – 2006. – №6. – С. 14-15.

УДК 631.1

Кузнецов С.А. к.т.н., доцент; Янзин В.М. к.т.н., доцент; Гужин И.Н. к.т.н., доцент

### **ОБОСНОВАНИЕ ФУНКЦИЙ СЕРВИСНОГО ЦЕНТРА СОВРЕМЕННЫХ ТРАКТОРОВ НА БАЗЕ НИИ МППСХП**

*Рассмотрены условия создания и определены основные функции сервисного центра современных тракторов.*

*The conditions of the creation and the modern tractor service centre main functions are considered and determined prices-rub.*

Одним из важнейших факторов повышения уровня технической готовности парка машин, имеющегося в сельском хозяйстве, является улучшение их технической эксплуатации. Это может быть достигнуто за счёт создания целой сети сервисных центров современных тракторов.

Анализируя показатели работы сельскохозяйственных предприятий в 2005 году можно отметить, что, несмотря на определенные положительные изменения в аграрном секторе, увеличить на ближайшую перспективу темпы роста производства продукции сельского хозяйства до 104-105%, как это планирует Минсельхоз России, будет крайне сложно. Основными причинами этого являются изношенность тракторного парка и низкий уровень их технического сервиса [1].

За последнее десятилетие почти в 2 раза сократилась обеспеченность сельскохозяйственных организаций тракторами, комбайнами и грузовыми автомобилями.

Парк сельскохозяйственной техники в нашей стране изношен и устарел. Основную долю (71%) занимают тракторы, сроком эксплуатации больше 10 лет. Тракторы, срок службы которых от 6 до 10 лет, составляют всего 21%, а тракторов, срок службы которых до 5 лет, лишь 8%.

Аналогичная ситуация по зерновым комбайнам. Комбайны, сроком эксплуатации больше 10 лет, составляют 64% парка. Комбайны, срок службы которых от 6 до 10 лет, составляют всего 25%, а комбайнов, сроком службы до 5 лет, лишь 11%. Это означает, что новой современной техники в сельском хозяйстве практически нет и сельскохозяйственные производители относят большую часть расходов на поддержание и ремонт имеющихся средств производства.

В 2005 г. нагрузка на тракторы составила 160 га на единицу техники, это в 10 раз, больше, чем в Германии и в 2,5 раза, чем в Канаде. Нагрузка на зерноуборочные комбайны – 240 га, в 5 раз больше, чем в Германии и в 1,9 раза, чем в Канаде. Но в нашей стране обновления

сельскохозяйственной техники почти не происходит, соответственно она изнашивается быстрее, чем за границей [2].

На 1 июля 2006 г. по сравнению с 1 июля 2005 г. количество исправных зерноуборочных комбайнов уменьшилось на 4, кормоуборочных – на 10, кукурузоуборочных – на 12, свеклоуборочных и картофелеуборочных – на 5%.

Приведенные выше данные в полной мере соответствуют и состоянию машинно-тракторного парка Самарской области. Анализ учетной документации работы тракторного парка, проведенный в 23 хозяйствах, расположенных в разных районах области, показал, что уровень использования тракторов очень низкий (табл. 1).

Таблица 1

Основные показатели использования тракторного парка

Показатели	Годы		
	2004	2005	2006
Наличие тракторов, шт.:			
физических	624	578	554
условных	593,2	544,6	518,5
Среднегодовая выработка на 1 ус. эт. трактор	826	798	774
Коэффициент использования	0,42	0,39	0,37
Коэффициент технической готовности	0,64	0,62	0,58

Одной из главных проблем использования техники в сельскохозяйственном производстве, которая уже сказывается на готовности машин, и еще будет усугубляться – практически повсеместное (за исключением отдельных хозяйств) несоблюдение планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта машинно-тракторного парка.

Следует также отметить, что большинство сельскохозяйственных предприятий области в настоящее время не имеют ремонтной базы соответствующего уровня для технического обслуживания современных тракторов.

Кроме того, очень низкая квалификация механизаторов приводит к грубейшим нарушениям правил эксплуатации современных дорогостоящих машин и не даёт возможности использовать эту технику в полной мере. Решение этой проблемы невозможно без повышения квалификации механизаторов и инженерно-технических работников.

Повышение стоимости сельскохозяйственной техники привело к уменьшению ее покупок хозяйствами. Трудности с реализацией заставляют изготовителей искать новые формы стимулирования потребителей к приобретению их продукции. К ним можно отнести фирменное обслуживание и ремонт.

Отдельные заводы создают сеть предприятий по фирменному обслуживанию своей техники. Однако не все заводы обладают такой возможностью из-за отсутствия материальных и трудовых ресурсов.

Разработанная в ГОСНИТИ концепция развития технического сервиса и ремонтно-обслуживающих предприятий, обслуживающих и ремонтирующих технику на договорной основе с изготовителем и потребителем, в полной мере может быть реализована на базе научно-исследовательского института механизации производства и переработки сельскохозяйственной продукции (НИИ МППСХП).

НИИ МППСХП располагается практически в центре области и имеет связь со всеми хозяйствами по дорогам с асфальтовым покрытием. Наличие железной дороги в г. Кинель обеспечивает связь с заводами изготовителями.

Расположенные рядом Самарская ГСХА, Поволжская МИС позволяют получать оперативную информации по результатам испытания новых машин и консультации научно-технических работников академии. В свою очередь центр может обмениваться информацией по использованию обслуживаемых тракторов и обучать студентов современным технологиям технического сервиса.

Назначение сервисного центра – предоставлять потребителям услуги по договорам от одного или нескольких заводов-изготовителей, тракторы которых продает и обслуживает

(например, только ПО «Кировский завод» по тракторам типа К-744 может одновременно с этим обслуживать тракторы типа ХТЗ-150 ПО «ХТЗ», Украина и др.).

Зона деятельности центра: сельскохозяйственные предприятия всех форм собственности, предприниматели, частные лица – владельцы машин.

**Основными функциями сервисного центра являются:**

- изучение конъюнктуры рынка и реклама;
- поиск потенциальных покупателей;
- продажа и предпродажная подготовка тракторов;
- досборка и обкатка их (при необходимости);
- техническое обслуживание и ремонт тракторов в гарантийный и послегарантийный периоды;
- обеспечение запасными частями;
- обучение владельцев машин и ремонтно-эксплуатационного персонала;
- повышение квалификации механизаторов и специалистов;
- учет отказов и подготовка информации изготовителям о качестве машин, эксплуатационной технологичности, надежности, экономичности и т.д.;
- обучение студентов инженерного факультета как будущих специалистов сельскохозяйственного производства, на основе информационной и материально-технической баз центра современным технологиям технического сервиса.

Таким образом, создание сервисного центра на базе НИИ МППСХП, выполняющего выше перечисленные функции, обеспечит высокоэффективное использование современных тракторов сельскими товаропроизводителями.

#### Библиографический список.

1. Золотарев, С.Н. Техника требует обновлений, хозяйства – инвестиций // Механизация и электрификация. – 2006. – №6. – С. 5-6.
2. Министерство сельского хозяйства о тенденциях развития АПК. О текущей ситуации в агропромышленном комплексе Российской Федерации // МТС. – 2006. – №9. – С. 4-8.

УДК 539.219.3:53.09

Миронов В.М. д-р ф.-м. наук, профессор (Самарская ГСХА);  
Алексеева В.В. аспирант (Самарский государственный технический университет)

### ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДИФфуЗИИ Fe И Ni В ЖЕЛЕЗО-НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВАХ ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ ДЕФОРМАЦИИ

*Методами, основанными на применении радиоактивных изотопов железа и никеля, исследованы подвижность и распределение собственных атомов в железоникелевых сплавах при массопереносе в условиях низкотемпературных (93-553K) мартенситных превращений. Установлены объемный характер проникающих атомов и влияние температуры, наличия примесей различного типа, дополнительного наложения импульсной пластической деформации на скорость миграции атомов при криогенных температурах. Высказаны предположения по поводу роста подвижности атомов с понижением температуры после достижения точки минимума.*

*Mobility and distribution of own atoms in Fe – Ni alloys are studied at mass – transfer in conditions of low – temperature (93-553K) martensitic transformations by methods grounded on applying of radio – isotopes of iron and nickel. Volume nature of penetrant atoms and temperature effect, presence of impurities of a different type, padding laying of an impulsive plastic strain on speed of migration of atoms at cryogenic temperatures are established. The conjectures concerning growth of mobility of atoms with a temperature drop after reaching point of minimum are pronounced.*

Импульсная деформация металлов, осуществляемая при температурах ниже комнатной, например, деформирование за счет объемного эффекта при мартенситных превращениях или удар падающим грузом на находящийся, например, в жидком азоте образец приводит к направленному

проникновению атомов с поверхности в глубь на макроскопические расстояния непосредственно в процессе деформирования, а не при последующем отогреве [3].

Целью настоящей работы является определение температурной зависимости подвижности в условиях импульсных деформаций, создаваемых мартенситными превращениями, и одновременного действия деформации и мартенситных превращений.

Для исследования диффузии (массопереноса) при низких температурах нагружения в качестве источника импульсной деформации использовали низкотемпературное мартенситное превращение, протекающее по взрывной кинетике. Исследования проводили на сплавах железа с 29 - 33%Ni, находящихся как в  $\alpha$  (ОЦК), так и  $\gamma$  (ГЦК) состояниях, полученных соответственно путем закалки от 1373K в жидкий азот или стабилизирующего отжига при 1373K в течение 1-10 ч. Использовались образцы двух типов – кубики с ребром 10 мм из железоникелевого сплава в исходном  $\gamma$ -состоянии, с чистой поверхности не ниже 11-го класса точности и П-образные оправки из  $\alpha$ -Fe–Ni с той степенью шероховатости, что и образцы. Для каждого из исследуемых сплавов определяли температуру начала  $M_H$  и конца  $M_K$  прямого  $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения по изменению пластичности и удлинения образца, связанному с образованием мартенсита, а также по изменению содержания мартенсита в сплаве, фиксируемому методом низкотемпературной рентгенографии. Точки  $A_H$  и  $A_K$  определяли по восстановлению формы при нагреве, по содержанию аустенита в сплаве и др. Определенные таким образом значения представлены ниже:

%	30%Ni	31%Ni	32%Ni	33%Ni	30%Ni
T, K	$M_H=233$	$M_H=185$	$M_H=140$	$M_H=93$	$A_H=553$

Рис. 1. Схема расположения образцов для нагружения при превращении в Fe–Ni-сплавах

Импульсное деформирование сплавов железа с 29-33% Ni в условиях  $\gamma \leftrightarrow \alpha$  превращений осуществляли следующим образом. Оправку с образцом, помещенным таким образом, чтобы был обеспечен контакт между слоем изотопа и противолежащими внутренними поверхностями оправки, помещали в жидкий азот (сплавы Fe – 33% Ni и Fe – 30% Ni – 0,5%С – в жидкий гелий) или печь, нагретую до 773K (рис. 1). Такой перегрев или переохлаждение оказывались достаточными для полного протекания превращения в образце или оправке. Это приводило к быстрой деформации ( $\varepsilon \sim 1\%$ ,  $\dot{\varepsilon} \sim 5 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$ ) поверхностных слоев, поскольку  $\gamma \leftrightarrow \alpha$  превращение в железоникелевых

сплавах характеризуется значительным увеличением объема  $\sim 3\%$ . Таким образом, при каждом виде нагружения происходило превращение то в образце, то в оправке, и диффузия в сплаве осуществлялась или при одновременном действии превращения и деформации, или только деформации. Причем можно точно определить температуру импульсной деформации, вызванной превращением, поскольку основная масса вещества переходит в новую модификацию в первые моменты фазового перехода. В некоторых экспериментах между образцом и внутренней стенкой оправки вставляли тонкие пластинки ( $\sim 2 \text{ мм}$ ) из железа или никеля, испытывающие только импульсную деформацию.

Исследование глубины проникновения, формы концентрационного профиля, подвижности и распределения атомов проводили методами послойного радиометрического анализа, макро-, микро- и электронномикроскопической автордиографии с помощью изотопов железа  $^{55}\text{Fe}$  и никеля  $^{63}\text{Ni}$ .

Проведенные эксперименты показали, что, несмотря на низкие температуры обоих видов нагружения – от 553 до 93K, концентрационные профили меченых атомов железа  $^{55}\text{Fe}$  и никеля  $^{63}\text{Ni}$  описывались экспоненциальными зависимостями от квадрата глубины проникновения, атомы располагались равномерно в каждом параллельном поверхности срезе (рис. 2) и отсутствовала преимущественная локализация проникающих атомов на границах зерен или фаз. Следовательно, проникновение атомов в глубь металла или сплава на глубины от 5 до 150 мкм происходит по объемному механизму, аналогично массопереносу при других видах импульсного воздействия на

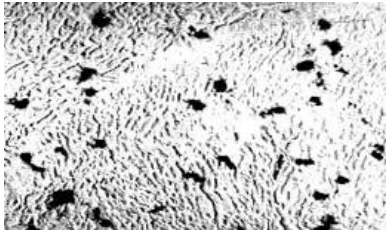


Рис. 2. Авторадиограмма – реплика сплава после превращения и деформации на глубине ~ 10 мкм, X 9800

различные металлы в интервале температур от предплавильных до жидкого азота [4]. Это дало возможность определить не эффективные, как это имеет место при низкотемпературных изотермических отжигах, а истинные коэффициенты объемной диффузии.

Влияние температуры на глубину проникновения и подвижность собственных атомов в деформируемом железе и Fe–Ni-сплавах, подвергнутых действию деформации и  $\gamma \rightleftharpoons \alpha$  превращения, в интервале 553–93К показано на рисунке 3. Снижение температуры до 140К приводит к уменьшению глубины проникновения и увеличению крутизны профиля распределения концентрации атомов железа  $C$ , % ( $N$ , имп./мин). То же самое наблюдается при проникновении атомов никеля, только глубины проникновения ниже на 10 – 15%. Однако при переходе от 140 к 93К при обоих видах воздействия наблюдается резкое увеличение протяженности диффузионной зоны, и профили распределения атомов становятся более пологими. Аналогичным образом с понижением температуры деформации до 140К уменьшается глубина проникновения  $X_{max}$ , и профиль распределения становится более крутым. Но, как и для одновременного действия деформации и превращения, при 93К проникновение происходит на существенно большую величину. Причем наибольший прирост  $X_{max}$  наблюдается для железа и никеля, а наименьший – для стали. Кроме того, зависимость  $C$  ( $N$ ) от  $X$  является заметно более крутой, чем в чистых металлах или твердом растворе никеля в железе (рис. 3, а).

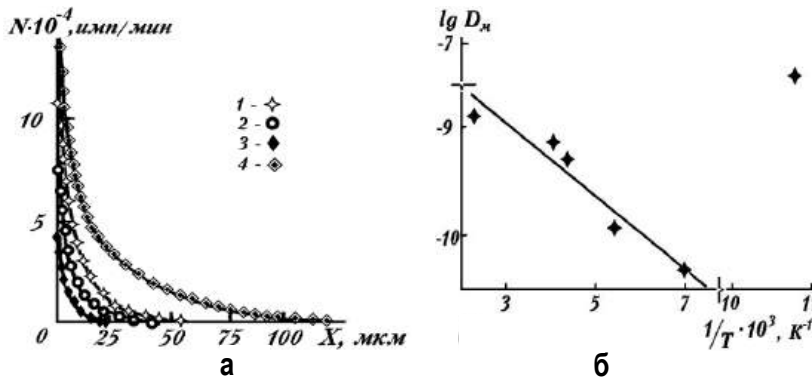


Рис. 3. Концентрационные профили распределения железа  $^{55}\text{Fe}$  в сплавах железа с 30 (1), 31 (2), 32 (3) и 33 (4) % Ni (а) и при температурной зависимости коэффициента самодиффузии  $^{55}\text{Fe}$  (б) при создаваемой превращением импульсной деформации

Таблица 1  
Влияние температуры превращения на подвижность атомов при действии превращения и деформации

Сплав	$T$ , К	$D_M$ , см <sup>2</sup> /с	
		$^{55}\text{Fe}$	$^{63}\text{Ni}$
Fe-29%Ni	255	$5,0 \cdot 10^{-9}$	$3,0 \cdot 10^{-9}$
Fe-30%Ni	233	$4,1 \cdot 10^{-9}$	$2,5 \cdot 10^{-9}$
Fe-31%Ni	185	$1,1 \cdot 10^{-9}$	$8,0 \cdot 10^{-10}$
Fe-32%Ni	140	$2,5 \cdot 10^{-10}$	$1,5 \cdot 10^{-10}$
Fe-33%Ni	93	$8,0 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$

коэффициент диффузии снижается, примерно, в 20 раз. Отметим, что для сравнения взят меньший температурный интервал, поскольку сопоставление коэффициентов диффузии при сопровождающихся деформацией  $\gamma \rightarrow \alpha$  и  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращениях может быть некорректным. Дальнейшее понижение температуры превращения приводит к заметному увеличению глубины проникновения и подвижности атомов (рис. 3, табл. 1). Причем это справедливо для деформации и

Рассмотрим температурную зависимость коэффициента диффузии. Логарифм коэффициента  $D_M$  железа прямо пропорционален обратной температуре вплоть до 140К (рис. 3, б) и характеризуется слабой температурной зависимостью. Действительно, при изменении температуры, примерно, на 400°С величина  $D_M$  изменяется на 1,5 порядка. Аналогичная закономерность наблюдается и при совместном действии деформации и превращения – при уменьшении температуры  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения на 115°С от 255 до 140К

одновременного действия импульсной деформации и мартенситного превращения, для металлов и твердых растворов внедрения и замещения.

Для сравнения был взят гомогенный сплав Fe – 30% Ni – 0,5% C, находящийся в исходном аустенитном состоянии и также обладающий взрывной кинетикой превращения, начинающегося при температуре 93К, и объемным эффектом ~ 3%. Нагрузки осуществляли по описанной ранее схеме, но в оправке из железа. Оказалось, что проникновение меченых атомов железа и никеля с поверхности образца в железо под действием импульсной деформации происходит на ту же глубину и с той же скоростью, что и при использовании сплава Fe – 33% Ni. То есть одинаковые условия деформирования способствуют одинаковому протеканию процесса диффузии. В то же время перенос вещества в самом сплаве, который испытывает превращение и деформацию, происходит с меньшей скоростью, чем в сплаве Fe – 33% Ni, что, по-видимому, связано с наличием углерода в сплаве.

Таким образом, наблюдаемый рост коэффициента диффузии  $D_M$  при криогенных температурах связан с активацией движения атома за счет напряжений, возникающих при  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращении и импульсной деформации в сплаве, когда тепловые колебания атомов в узлах решетки обладают небольшой амплитудой колебаний и могут меньше препятствовать движению атомов с поверхности в глубь материала.

#### Библиографический список

1. Герцрикен, Д.С. Влияние мартенситных превращений на подвижность атомов в железоникелевых сплавах / Д.С. Герцрикен, Ю.Н. Коваль, В.М. Тышкевич, В.М. Фальченко // ФММ. – 1994. – Вып. 4. – С. 103 - 109.
2. Лариов, Л.Н. Аномальное ускорение диффузии при импульсном нагружении металлов / Лариов Л.Н. [и др.] // ДАН СССР. – 1975. – № 5. – С. 1073 – 1075.
3. Герцрикен, Д.С. Некоторые закономерности миграции атомов в условиях скоростной пластической деформации / Д.С. Герцрикен, В.Ф. Мазанко, В.М. Фальченко // Металлофизика. – М. : 1983. – № 4. – С. 74 – 80.
4. Гаврилюк, В. А. Механизмы распада цементита при пластической деформации стали / В.А. Гаврилюк, Д.С. Герцрикен, В.М. Фальченко, Ю.А. Полушкин // ФММ. – 1981. – Вып. 1. – С. 147 – 152.
5. Герцрикен, Д.С. Определение длительности массопереноса и температуры импульсно деформируемого металла Герцрикен Д.С. [и др.] // ФММ. – 2005. – Вып. 2. – С. 187 – 193.
6. Миронов, В.М. Массоперенос и фазообразование в металлах при импульсных воздействиях / В.М. Миронов, Д.С. Герцрикен, В.Ф. Мазанко, А.В. Филатов. – Самара : Самарский ун-т, 2001. – С.232.

УДК 631.3.002.3.

Фролов Ю.Н. к.т.н., доцент

### КЛАССИФИКАЦИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

*В статье дано понятие алюминиевых сплавов. Рассмотрены деформируемые, литейные, композиционные сплавы и материалы. Приведена маркировка, указан химический состав, механические свойства и назначение. Разработана общая классификация алюминиевых сплавов с использованием последних ГОСТов.*

*In clause the concept of aluminium alloys is given. Deformable, foundry, composite alloys and materials are considered. Marks is resulted, the chemical compound, mechanical properties and purpose is specified. General classification of aluminium alloys with use of the last GOST is developed.*

Алюминий характеризуется высокой тепло и электропроводностью, низкой температурой плавления. Характерные свойства алюминия – высокая пластичность и малая прочность (даже после высокой степени деформации с резким падением пластичности). Этот недостаток частично компенсируется низкой плотностью – повышенной удельной прочностью. Он обладает высокой

коррозионной стойкостью на воздухе и в органических кислотах, благодаря тонкой, но плотной пленки окиси алюминия  $Al_2O_3$  с высокими защитными свойствами.

Низкий предел прочности технически чистого алюминия ( $\sigma_b = 8 \text{ кг/мм}^2$ ) ограничивает область его применения. В качестве конструкционных материалов промышленность широко использует сплавы на основе алюминия, особенно в тех случаях, когда важно снижение массы изделия.

Сплавы алюминия классифицируются по способу получения заготовок и изделий, химическому составу и равновесному состоянию, технологической обработке и назначению.

Способы получения заготовок и изделий подразделяются на деформируемые, литейные, спекаемые – композиционные (с использованием пластической деформации и литья).

По химическому составу наибольшее распространение получили сплавы на основе алюминия с Mn, Mg, Si, Cu, Zn, Fe, Ni, Ti. Они бывают двойные, тройные и более сложные. Состав задается массовой долей элементов в %. По содержанию примесей, буквы в конце марки сплава обозначают: ч – чистый; пч – повышенной чистоты; оч – особой чистоты; л – литейный сплав (АМгб – деформируемый, а АМгл – литейный).

В равновесном состоянии алюминиевые сплавы состоят из легированных твердых растворов, эвтектики, химических соединений алюминия с компонентами и компонентов между собой.

Виды технологической обработки для деформируемых и литейных сплавов различаются.

Деформируемые сплавы, не упрочняемые закалкой, могут подвергаться отжигу, горячей и холодной пластической деформации (нагартовка) со степенью обжатия до 20%. Деформируемые упрочняемые термической обработкой сплавы закалывают с естественным или искусственным старением и в комбинации с нагартовкой.

Литейные сплавы – модифицируют, состаривают, отжигают, закалывают с частичным или полным старением и со стабилизирующим или смягчающим отпуском.

Механические свойства обусловлены не только химическим составом (марка сплава), но и зависят от вида технологической обработки и способа литья. Прочность ( $\sigma_b$ ) и твердость задаются в  $\text{кг/мм}^2$ , пластичность относительным удлинением ( $\delta$ ) в %.

По назначению алюминиевые сплавы можно разделить на конструкционные (деформируемые, литейные и спекаемые) и специального назначения (антифрикционные, спекаемые-композиционные).

Общая классификация сплавов и материалов на основе алюминия приведена на рисунке 1.

*Деформируемые сплавы* имеют высокую пластичность, но низкий предел прочности. Сплавы обозначают буквами АД (деформируемые), АВ (авиаль), АК (ковочный), Д (дуралюмин), В (высокопрочный), после у которых ставят номер сплава. По способности упрочняться закалкой различают неупрочняемые и упрочняемые сплавы. *Неупрочняемые* системы Al-Mn (АМц) и Al-Mg (АМг). Марки АМц и АМг 1, 2, 3 относятся к сплавам высокой коррозионной стойкости и низкой прочности. Сплавы АМг5 и АМгб после нагартовки используют для средненагруженных изделий. *Упрочняемые* – способны закаляться для получения пересыщенного твердого раствора и затем подвергаться старению. Сплавы системы Al-Mg-Si пластичные, а Al-Cu-Mg пластичные и более прочные. Пластичны при нагреве сплавы системы Al-Cu-Si-Mn-Mg. Жаропрочные до 300°C сплавы Al-Cu-Mg-Fe-Ni, а высокопрочные до 120°C Al-Zn-Mg-Cu.

Литейные сплавы алюминия по ГОСТ 1583-89(90) распределены на 5 групп и систем основных компонентов. Основные компоненты (химические элементы) и их количество заданы маркой сплавов (АК6М2- Si=6%; Si=2%). Другие компоненты приведены в классификации. Все приведенные марки за исключением АК12 (силумин), АМг5Мц и АК9Ц6, упрочняются термической обработкой. Силумин используется для тонкостенного литья. Модифицирование позволяет на 30-40% увеличить прочность и в 2...3 раза пластичность. Легированные силумины 1 и 2 группы применяются для средне и высоконагруженных деталей (блоки и головки цилиндров, картеры, поршни и др.). Сплавы 3 группы (Al-Cu) имеют высокие механические свойства при комнатной и повышенных температурах. Сплавы 4 группы (Al-Mg) коррозионностойкие. Сплав 5 группы АЦ4Мг обладает хорошей жаропрочностью до 150°C.

Для изделий пищевого назначения применяются сплавы АК7 и АК5М2. В сплавах АК12 ( $Si \leq 0,30\%$ ) и АМг5Мц ( $Si \leq 0,1\%$ ) при работе в морской воде.

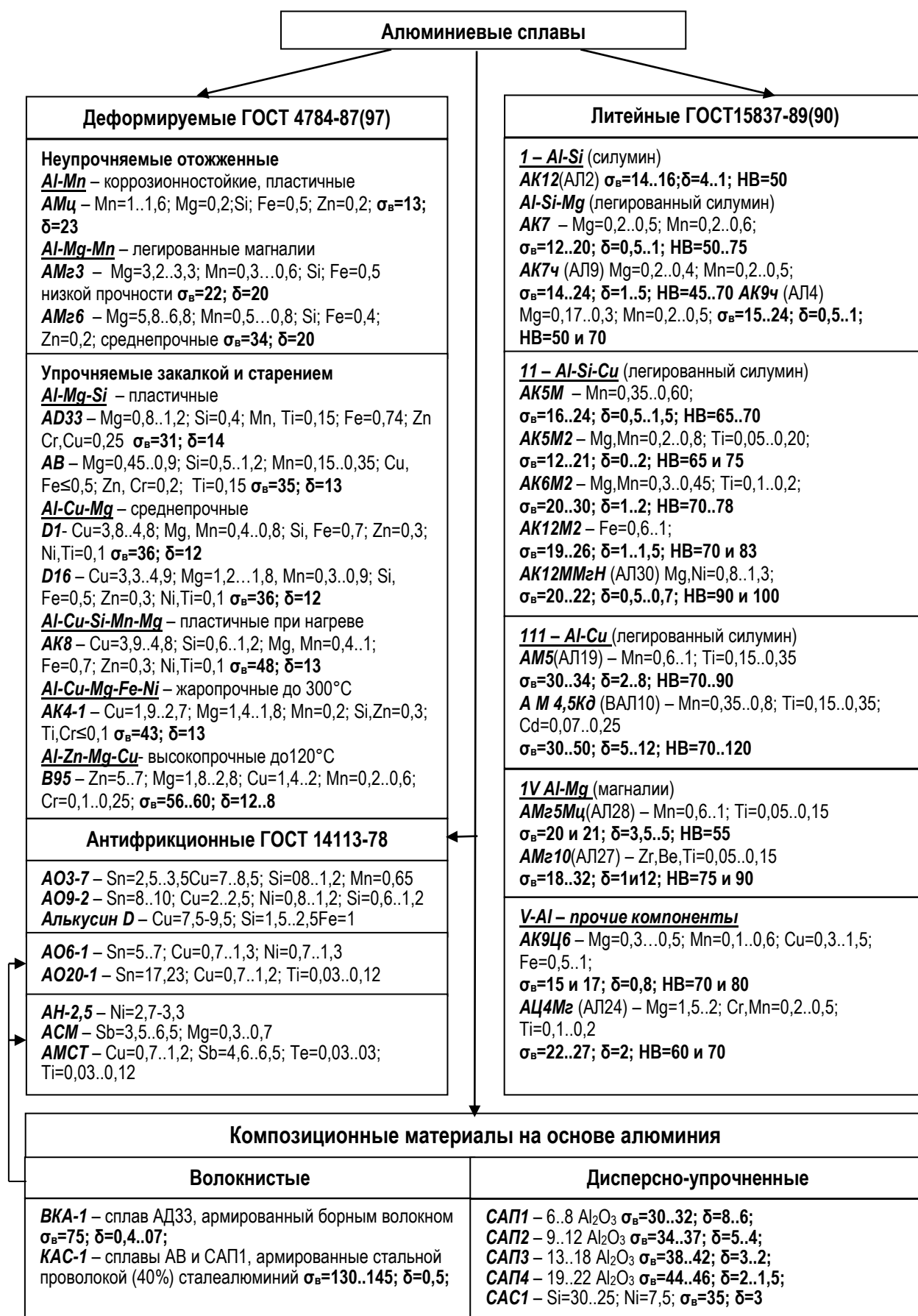


Рис. 1. Общая классификация сплавов на основе алюминия



Композиционные материалы (композиты) – комбинация двух и более материалов с сохранением индивидуальности каждого. Материалы (компоненты) непрерывные по всему объему являются матрицей. Компоненты прерывные относятся к усиливающим (армирующим). В зависимости от армирующих композиты могут быть дисперсно-упрочненными (порошки или гранулы оксидов, карбидов, нитридов, боридов – до 30% объема, равномерно распределенные в матрице) и волокнистыми (высокопрочные и высокомодульные волокна, проволоки, жгуты, сетки, ленты – объемной долей до 75%).

В качестве металлической матрицы находят применение технический алюминий и его деформируемые (неупрочняемые и упрочняемые) сплавы, которые могут находиться в твердом, вязкотекучем и жидком (при большой доле армирующего) состояниях.

Наиболее широко применяют твердофазные композиты, которые получают холодным прессованием с последующим спеканием (при температуре 0,7..0,9 Тпл наиболее легкоплавкого компонента) под давлением 70 кг/мм<sup>2</sup>.

К дисперсно-упрочненным сплавам относятся САП (спеченные алюминиевые порошки) и САС (спеченные алюминиевые сплавы). Сплавы САП состоят из порошков алюминия (матрица) и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (армирующие). Содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в САП колеблется от 6...8% (САП1) до 18...22% (САП4). Прочность повышается с 30..32 до 44..46 кг/мм<sup>2</sup>, а пластичность снижается от 8.5 до 2...1,5%. Сплавы САП характеризуются высокой жаропрочностью при 350...500°C. Сплав САС1 система Al-Si-Ni отличается низким коэффициентом теплового расширения

Волокнистые композиты состоят из алюминиевой матрицы армированной волокнами бора и стальной проволоки.

Бороалюминиевые композиции ВКА-1 матрица из сплава АД33, армированного борсиком (волокна бора покрытые тонким слоем карбида кремния для повышения жаростойкости и защиты от воздействия с матрицей) до 45% объема. Композиты обладают высокой циклической прочностью.

Сталеалюминевый композит КАС-1 – матрица из сплава АВ или композита САП-1. В качестве армирующего используют проволоочные волокна Ø 0,15 мм из стали марки ВНС-9 которая сохраняют прочность до 560°C и занимают 40% объема. Высокая ударная вязкость с большим сопротивлением усталостным трещинам.

Антифрикционные сплавы. Основными компонентами сплавов являются Sn, Ce, Ni, Si и Sb, образующие с алюминием гетерогенные структуры (AlSb, Al<sub>3</sub>Ni, CuAl<sub>2</sub> и др.) Сплавы имеют низкий коэффициент полусухого трения ( $f = 0,03...0,04$ ), Высокую износостойкость и выносливость, твердость 35...55НВ. Применяют вместо оловянных и свинцовых баббитов, свинцовистой бронзы. Требуют высокой твердости валов (>50HRC) с принудительной смазкой. Из-за высокого коэффициента линейного расширения – увеличенных зазоров. Работают при нагрузке не более 200...400 кг/см<sup>2</sup>, окружной скорости 15...20 м/с, и температуре 100...120°C.

Сплавы АО3-7, АО9-2 и Алькусин Д применяют для отливки монометаллических вкладышей и втулок толщиной более 10мм. Сплавы АО6-1- и АО20-1 для получения волокнистого композита – биметаллической ленты со сталью или дуралюминием методом прокатки с толщиной антифрикционного слоя 1 мм. Сплавы АМ-2,5; АСМ и АМСТ – лента со сталью и толщиной слоя 0,5 мм.

В этих композитах дуралюмин и сталь обеспечивают прочностные характеристики, а сплавы – антифрикционные свойства.

Классификация не имеет аналогов. Содержит наиболее полную информацию о сплавах алюминия, освоенных в производстве и проверенных в эксплуатации.

#### Библиографический список

1. Лахтин, Ю.М. Металловедение. – М. : Машиностроение, 1993. – 448с.
2. Композиционные материалы : справочник / В.В. Васильев, В.Д. Протасов, В.В. Болотин [и др.] ; под ред.В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского. – М. : Транспорт, 1989. – 512 с.
3. Матовилин, Г.В. Автомобильные материалы : справочник / Г.В. Матовилин, М.А. Масино, О.М. Суворов. – М. : Транспорт, 1989. – 464с.
4. ГОСТ1583-89. Сплавы алюминиевые литейные. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 24 с.
5. Фетисов, Г.П. Материаловедение и технология металлов. – М. : Высшая школа, 2002. – 638с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАМЕТРА ОТВЕРСТИЯ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

*Рассмотрены и проанализированы методы расчета размеров деталей при пластическом деформировании. Приведена расчетная схема и аналитическая зависимость для размеров при дорновании.*

*The methods of machine parts' parameters calculation under plastic deformation have been examined and analysed. Holes sizes calculation scheme and analytical dependence have been presented.*

При использовании пластической деформации в качестве финишной операции большое значение имеет достигаемая точность обработки. Эта операция сохраняет форму детали, но изменяет ее размер. При обработке наружных цилиндрических поверхностей диаметр несколько уменьшается, а при обработке отверстий, наоборот, увеличивается. Учет изменения размеров деталей, в связи с пластической деформацией поверхностного слоя, имеет большое практическое значение для установления припусков на эту операцию, особенно сопряженных деталей, изготовление которых осуществляется с узкими допусками. Для более точного соблюдения этих допусков необходим предварительный расчет размеров детали.

В некоторых исследованиях [2, 3] определено, что изменение размера зависит от величины остаточной деформации  $h$  и высоты неровностей  $R$ , образующихся в результате обработки. Размер детали выразится формулой:

$$D = D_3 + 2(h - R), \quad (1)$$

где  $D_3$ ,  $D$  – диаметр обрабатываемой поверхности до и после обработки соответственно.

Эта формула не учитывает такие факторы как: предварительная шероховатость, усилие, материал детали, величина создаваемого натяга, начальные размеры заготовки и рабочих органов. Она также не применима при обработке отверстий дорнованием.

Для расчета размера отверстия, подвергаемого пластическому деформированию, необходимо учитывать действие выше перечисленных факторов.

Процесс пластического деформирования, а именно, дорнование, может быть представлен в виде схемы (рис. 1).

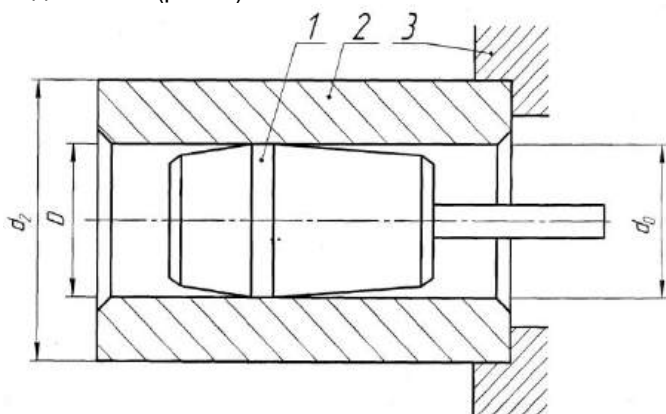


Рис. 1. Схема обработки дорнованием:

1 – дорн; 2 – обрабатываемая деталь; 3 – упорная плита станка

Размер отверстия  $D$ , после операции, можно представить в виде:

$$D = d_0 + N, \quad (2)$$

где  $d_0$  – размер отверстия до операции;

$N$  – допустимый натяг в сопряжении.

На основании подобных процессов пластического деформирования, происходящих при запрессовке неподвижных соединений, и операции дорнования для обработки отверстий, величину допустимого натяга можно выразить формулой [1]:

$$N = N_1 + J_w, \quad (3)$$

где  $N_1$  – расчетный натяг;

$J_w$  – поправка на шероховатость поверхности.

Расчетный натяг  $N_1$  выражается формулой [1]:

$$N_1 = [P]d_0 \left( \frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right), \quad (4)$$

где  $P$  – максимальное удельное давление;

$E_1, E_2$  – модули упругости материала детали и рабочего органа;

$C_1, C_2$  – коэффициенты Лямле, определяемые по формулам:

$$C_1 = \frac{1 + (d_1 / d_0)^2}{1 - (d_1 / d_0)^2} - \mu_1; \quad C_2 = \frac{1 + (d_0 / d_2)^2}{1 - (d_0 / d_2)^2} - \mu_2,$$

где  $d_2$  – наружный диаметр детали;

$d_0$  – внутренний диаметр детали;

$d_1$  – диаметр отверстия в рабочем органе;

$\mu_1, \mu_2$  – коэффициенты Пуассона рабочего органа и обрабатываемой детали соответственно.

Максимальное удельное давление определяется из выражения [1]:

$$P = 0,58\sigma_\tau \left[ \left( 1 - \frac{d_0}{d_2} \right)^2 \right], \quad (5)$$

где  $\sigma_\tau$  – предел текучести материала обрабатываемой детали;

Поправка на шероховатость определяется по формуле:

$$\gamma_{ш} = 5Rad, \quad (6)$$

где  $Rad$  – заданная шероховатость обрабатываемой детали

Окончательно, для расчета диаметра отверстия, после дорнования, необходимо зависимости (3), (4), (5), (6) подставить в формулу 2.

В результате зависимость (2) примет вид:

$$D = d_0 + 0,58\delta_\tau \left[ \left( 1 - \frac{d_0}{d_2} \right)^2 \right] \cdot d_0 \left( \frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right) + 5Rad. \quad (7)$$

Величины  $\delta_\tau, E_1, E_2$  определяются исходя из материала детали, величина  $Rad$  назначается исходя из эксплуатационных требований.

Таким образом, используя полученную зависимость (7), можно рассчитать диаметр отверстия, ожидаемый после обработки его пластическим деформированием, а именно дорнованием. Зазор или натяг в сопряжении при сборке будет соблюдаться более точно.

#### Библиографический список

1. Палей, М.А. Допустимая посадка : справочник / М. А. Палей, Б.А. Романов, А.В. Брагинский. – Л. : Политехника, 1991. – 606 с.
2. Папшев, Д.Д. Упрочнение деталей обкатки. – М. : Машиностроение, 1968. – 132 с.
3. Школьник, Л.М. Технология и приспособление для упрочнения и отделки деталей накатыванием. / Л.М. Школьник, В.И. Шахов. – М. : Машиностроение, 1964. – 184 с.

## РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ПОСАДОЧНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗАДНЕГО МОСТА ГУСЕНИЧНОГО ТРАКТОРА ОТНОСИТЕЛЬНО БАЗОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

*В статье приводится размерный анализ посадочных поверхностей корпуса заднего моста, влияющий на величину и характер износа деталей главной передачи, планетарного механизма и конечной передачи гусеничного трактора. Проведенный размерный анализ позволяет определить суммарную величину допуска расположения посадочных поверхностей заднего моста.*

*In clause the dimensional analysis of landing surfaces of the case of the back bridge, influencing on size and character of deterioration of details of the main transfer, the planetary mechanism and final transfer of a caterpillar tractor is resulted. The lead dimensional analysis allows to define total size of the admission of an arrangement of landing surfaces of the back bridge.*

Задний мост представляет собой сборочную единицу, содержащую комплекс различных видов сопряжений: гладкие цилиндрические, соединения с подшипниками качения, шлицевые, зубчатые и резьбовые.

В корпусе заднего моста гусеничного трактора расположены главная передача, планетарный механизм поворота и конечная передача.

В процессе эксплуатации подвергаются износу посадочные поверхности корпуса заднего моста, поверхности стаканов, шлицев полуосей и сопряженных с ними поверхностей деталей, зубья шестерен и в большей степени конечной передачи, и других деталей.

На величину износа деталей и их сопряжений в большей степени оказывает влияние расположение посадочных поверхностей корпуса заднего моста относительно базовых поверхностей.

Базовыми поверхностями корпуса заднего моста являются поверхности, на которые базируются корпус при технологическом процессе изготовления или восстановления. Базовые поверхности являются конструктивными, технологическими и измерительными базами.

Относительно базовых поверхностей проходит геометрическая ось отверстий заднего моста под подшипники качения ведущих шестерен конечной передачи. Относительно геометрической оси располагаются оси отверстий под подшипники качения солнечной шестерни.

Геометрическая ось корпуса заднего моста должна быть параллельна базовой поверхности, а ось отверстия под подшипник ведущей шестерни главной передачи должна быть перпендикулярна ей.

От точного расположения осей отверстий будет зависеть точность сборки главной передачи, характер и величина износа деталей.

На рисунке 1 представлены схемы расположения осей отверстий и схемы размерных цепей.

Точность расположения геометрической оси отверстий корпуса заднего моста будет определяться допуском параллельности ( $T_{\text{пар}}$ ) и перекоса ( $T_{\text{пер}}$ ). Таким образом допуск расположения геометрической оси ( $T_{\text{рас.г.о.}}$ ) определяется суммой допусков

$$T_{\text{рас.г.о.}} = T_{\text{пар}} + T_{\text{пер.}}$$

Допуск параллельности геометрической оси ( $T_{\text{пар}}$ ) относительно базовой поверхности определяется разностью размеров  $A_1$  и  $A_2$  до базовой поверхности, согласно схемы размерной цепи (рис. 1, б).

$$T_{\text{пар}} = A_1 - A_2.$$

Допуск перекоса оси, согласно схемы (рис. 1, г) определяется разностью размеров  $B_1$  и  $B_2$ :

$$T_{\text{пер}} = B_1 - B_2.$$

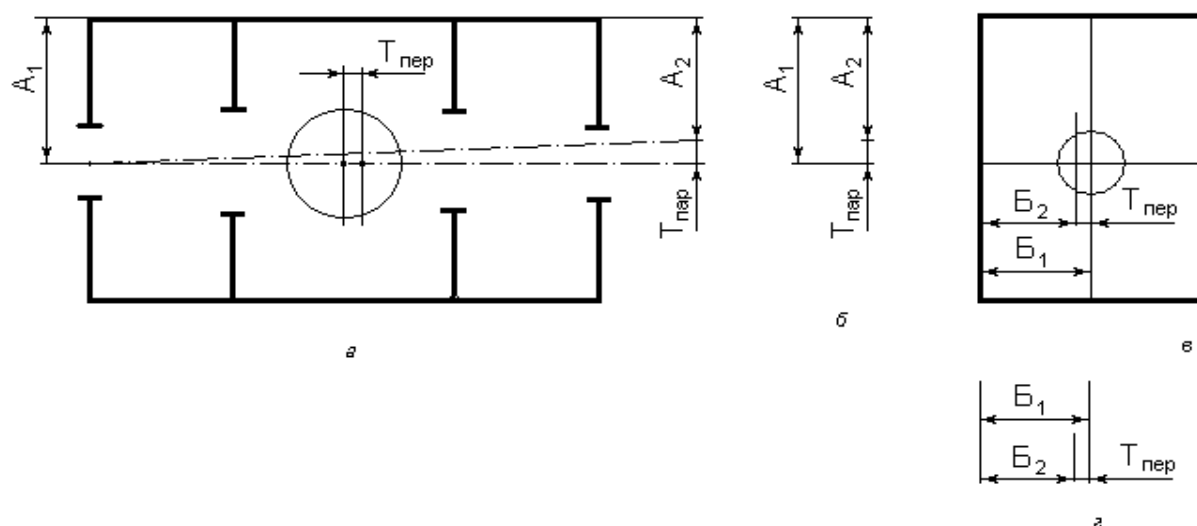


Рис. 1. Схема корпуса моста гусеничного трактора (а, б) и схемы размерных цепей (б, г)

Точность расположения осей отверстий заднего моста под подшипники качения планетарного механизма будет определяться допуском соосности ( $T_{с.о.}$ ). Точность же расположения оси отверстия под подшипник качения главной передачи будет определяться допуском её перпендикулярности ( $T_{перп.}$ ) к геометрической оси заднего моста.

Допуски перпендикулярности и соосности определяются из схем размерных цепей, составленных аналогичным образом.

Суммарная величина допуска расположения ( $T_{рас\Sigma}$ ) будет определяться совокупностью допусков осей посадочных поверхностей заднего моста

$$T_{рас\Sigma} = T_{пар} + T_{пер} + T_{с.о.} \cdot T_{перп.}$$

Суммарная величина допуска расположения поверхностей корпуса заднего моста в общем виде можно выразить как сумму допусков расположения посадочных поверхностей ( $T_{рас.о.}$ ), влияющих на характер и величину износа зубьев шестерен, подшипников качения и других деталей

$$T_{рас\Sigma} = \sum_{i=1}^n T_{рас.о.}$$

Таким образом, на основании проведенного анализа размерных цепей, определяющих величину допусков расположения посадочных поверхностей заднего моста гусеничного трактора, можно определить суммарную величину допуска, которая определяет величину и характер износа зубьев шестерен, подшипников качения и других деталей.

В процессе восстановления посадочных отверстий заднего моста целесообразно использовать полимерные композиты, позволяющие восстанавливать поверхности и компенсировать погрешности расположения посадочных поверхностей.

#### Библиографический список

1. Родичев, В.А. Трактора и автомобили / В.А. Родичев, Т.И. Родичева. – М. : Высшая школа, 1982. – 320с.
2. Шасси тракторов ДТ-75, ДТ-75М. Технические требования на капитальный ремонт. – М. : ГОСТНИТИ, 1982. – 127с.
3. Волков, Г.М. Нетрадиционный авторемонт // Техника в сельском хозяйстве. – 1997. – №1. – С. 15-19.

## ВЛИЯНИЕ ПОТОКА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЧАСТИЦ ВОЛЬФРАМА НА СВОЙСТВА МАЛОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

*Рассмотрено взаимодействие потока высокоскоростных частиц вольфрама с малоуглеродистой сталью. Получено распределение твердости по поверхности и по глубине образцов. Показано, что взаимодействие потока высокоскоростных частиц вольфрама с малоуглеродистой сталью приводит к увеличению твердости на поверхности и в объеме образцов.*

*In article the interaction between a high speed particles and steel have examined, and, solidity on surface and deep of matter have received. There are rise of volume solidity after interaction between a high speed particles and steel.*

Взаимодействие макроскопических ударников с твердым телом изучено довольно полно. Как правило, для объяснения механизма взаимодействия тел (ударников) с мишенью привлекается гидродинамическая теория, в рамках которой мишень рассматривается как несжимаемая жидкость и значения глубин проникания не превышают десяти диаметров тела. Полученные значения глубин проникания для одиночных тел хорошо согласуются с экспериментом. Изучение взаимодействия микро ударников с твердым телом показало, что глубина проникания, превосходит их размеры на 2-4 порядка, что не согласуется с предложенной выше моделью. Данное явление наблюдается при взаимодействии с твердым телом потока микрочастиц размерами 10...100 мкм, разогнанного до скорости 1...3 км/с [1, 2, 3, 4]. Оказалось перспективным использование данного явления для микролегирования и получения материалов с новыми свойствами.

Считается, что обработка потоком высокоскоростных частиц сварного шва, полученного при использовании дуговой сварки, может улучшить структуру и свойства зоны шва, увеличить её коррозионную стойкость. Целью данной работы является проверка данного предположения.

В качестве материала использовалась холоднокатаная листовая сталь марки ст.3, толщиной 10 мм. Заготовки представляли собой пластины 100 × 150 мм, которые сваривались посредством дуговой сварки (рис. 1, а), после обработки из пластин вырезались образцы размером 100 × 100 мм (рис. 1, б). В качестве материала порошка выступал модельный материал - вольфрам массой 3 г и дисперсностью 2...12 мкм. Для разгона порошка до скоростей, необходимых для реализации явления сверхглубокого проникания (СГП), использовалось взрывчатое вещество (ВВ) – аммонит плотностью 1 г/см<sup>3</sup>.

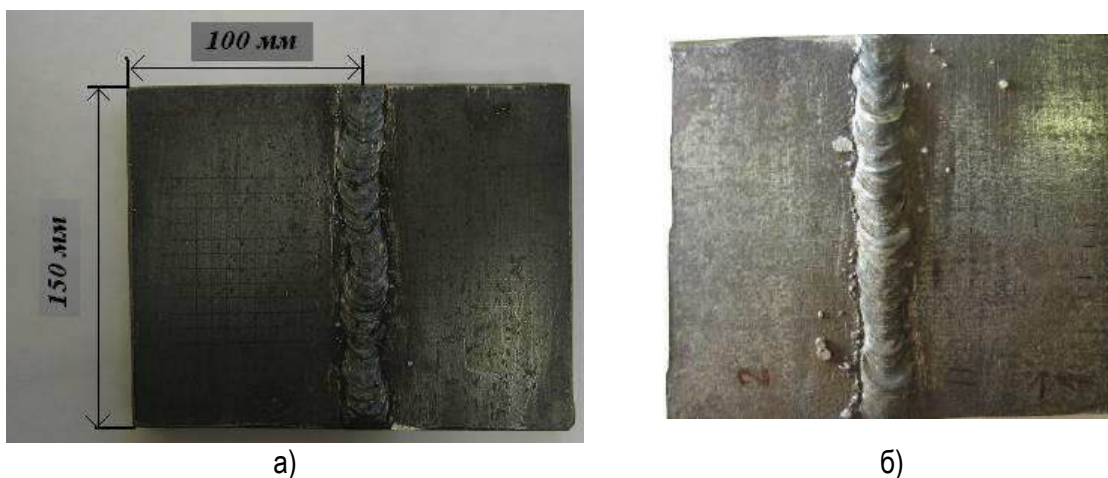


Рис. 1. Фотографии образцов:

а) до обработки; б) после обработки потоком высокоскоростных частиц вольфрама

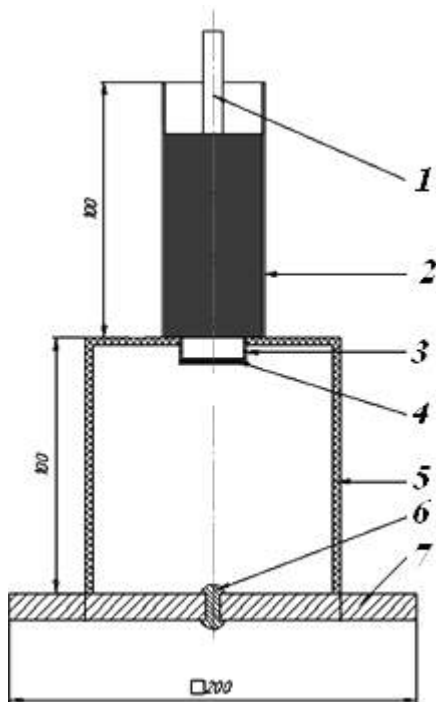


Рис. 2. Схема экспериментальной установки:  
1 – детонатор, 2 – заряд ВВ,  
3 – кольцо, 4 – порошок вольфрама, 5 – опалубка, 6 – сварной шов, 7 – пластина из стали ст.3

Для разделения эффектов, связанных с взаимодействием ударной волны с образцом и взаимодействием потока частиц, разогнанных зарядом ВВ, были проведены следующие опыты: обработка образцов только ударной волной; обработка образцов потоком частиц вольфрама, разогнанных ударной волной, причем масса, тип ВВ и схема обработки оставались такими же, как и в первом случае.

Схема эксперимента представлена на рисунке 2. На пластину с помощью опалубки устанавливалось кольцо с порошком и заряд взрывчатого вещества с детонатором. Угол падения ударной волны и порошка на центральную область (область сварного шва) равен нулю.

Для оптимизации схемы эксперимента было проведено исследование распределения твердости по поверхности образца при обработке только ударной волной и при обработке потоком частиц вольфрама. Твердость образцов измерялась по методу Виккерса твердомером ТПП-2. Исследуемая поверхность представляла собой прямоугольник размером  $33 \times 18$  мм, причем с двух сторон от сварного шва.

Как видно из рисунка 1, взаимодействие потока частиц с материалом мишени, в используемой схеме эксперимента, не приводит к значительным внешним изменениям зоны шва и не требует дополнительной механической обработки детали.

На рисунке 3 представлен график изменения твердости

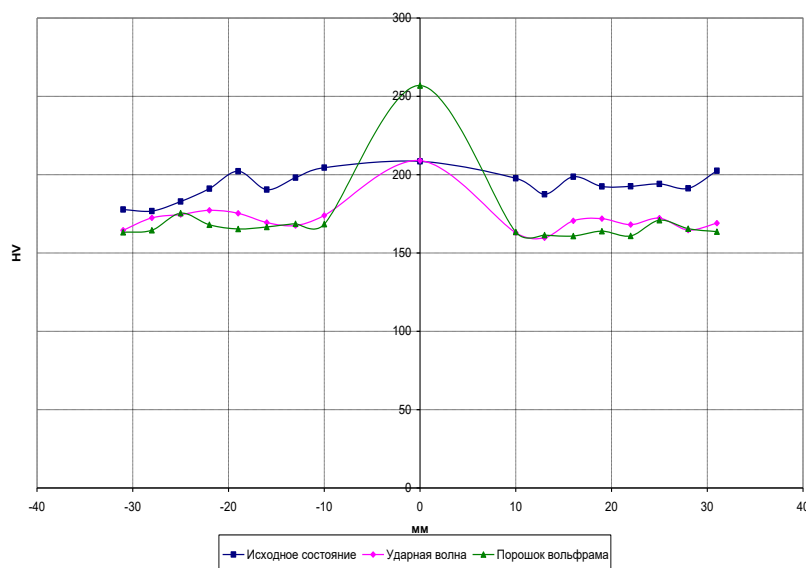


Рис. 3. Распределение твердости по поверхности образцов

на поверхности пластины после обработки ударной волной в зависимости от расстояния до сварного шва (шву соответствует значение координаты  $X$  равно нулю). Как видно из графиков обработка только ударной волной не изменяет твердости сварного шва, уменьшая твердость пластины (ст. 3) на 8...36 единиц, в зависимости от местоположения исследуемой точки. Уменьшение твердости пластины по сравнению с исходным состоянием связано с тем, что исходный образец получен путем холодной прокатки стали, и концентрация дефектов кристаллической решётки в нем велика. С удалением от шва – центр образца – изменение твердости уменьшается, что вероятнее всего связано с увеличением расстояния от заряда ВВ до обрабатываемой поверхности и изменением угла падения ударной волны на образец. Обработка потоком частиц вольфрама увеличивает твердость шва на 48 HV, поведение распределения твердости по остальной поверхности в этом случае почти не отличается от поведения твердости на поверхности пластин после обработки только ударной волной.

Образцы разрезались перпендикулярно сварному шву и изготавливались шлифы. Твердость измерялась микротвердомером ПМТ-3. Распределения твердости в зависимости от глубины представлены на рисунках 4, 5, 6.

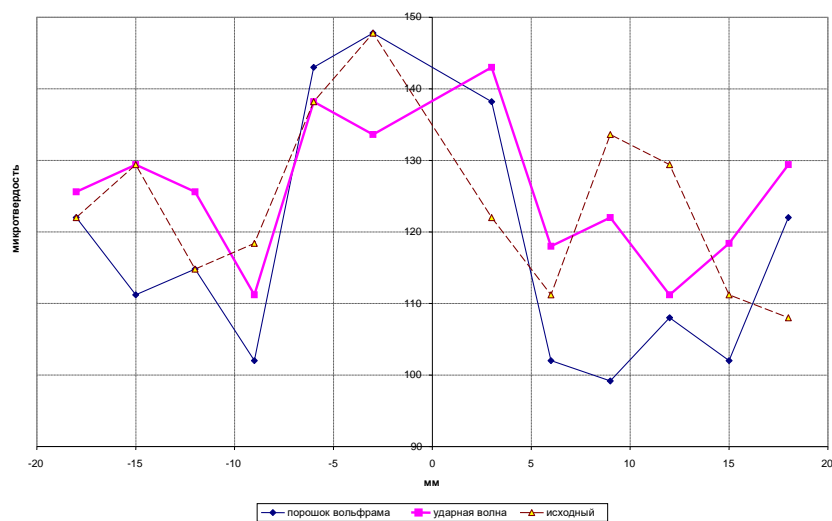


Рис. 4. Распределение значений микротвердости, в зависимости от расстояния до сварного шва, на глубине 2 мм

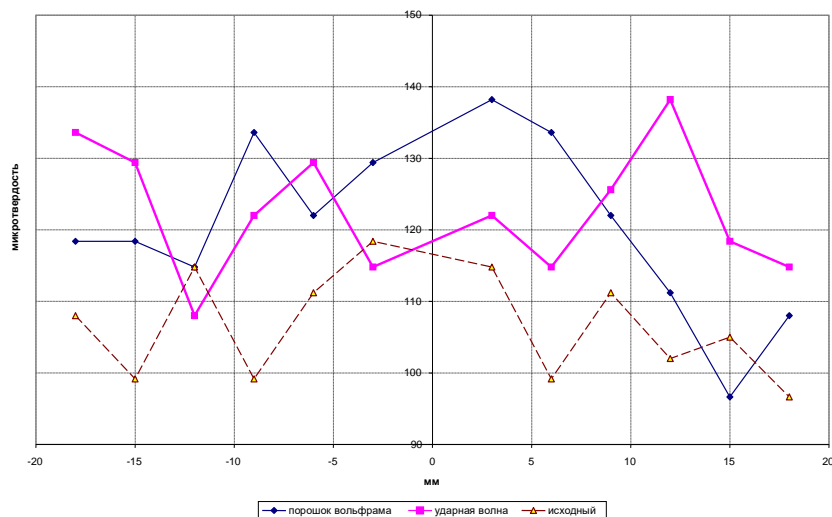


Рис. 5. Распределение значений микротвердости, в зависимости от расстояния до сварного шва, на глубине 4 мм

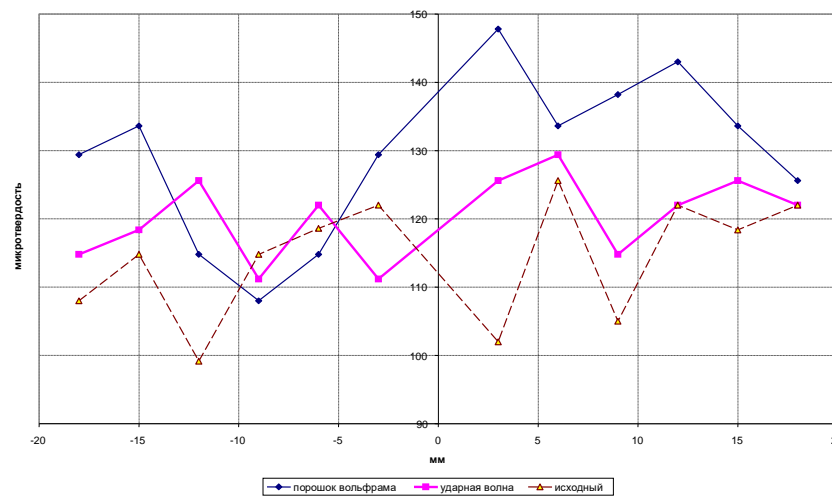


Рис. 6. Распределение значений микротвердости, в зависимости от расстояния до сварного шва, на глубине 6 мм

Значения микротвердости образцов на глубине 2 мм от поверхности представлены на рисунке 4.

Из рисунка 4 видно, что характер распределения микротвердости в зависимости от расстояния до сварного шва почти не меняется. Но уже на глубине 4 мм от поверхности (рис. 5) микротвердость после обработки ударной волной и потоком частиц вольфрама увеличивается по сравнению с исходным образцом.

Это связано с тем, что после взаимодействия только с УВ твердость материала уменьшается с удалением от контактной поверхности, т. к. соответственно убывает давление в ударной волне, но уменьшение количества дефектов в зависимости от расстояния до поверхности образца, при ударно волновом воздействии менее выражено, чем при холодной прокатке стали.

Аналогичные изменения происходят и на глубине 6 мм от поверхности образцов, микротвердость исходного образца меньше (рис. 6), чем после обработки ударной волной и потоком частиц вольфрама.

Преобладание значений микротвердости образца, обработанного потоком частиц вольфрама, над значениями микротвердости образца, обработанного только ударной волной, скорее всего, связано с



остановкой некоторого количества частиц вольфрама именно на этой глубине и тем, что каналы, образующиеся при СГП, армируют матрицу мишени [2] – это также приводит к увеличению прочности и износостойкости материала. Например, при обработке стали У8 протоком частиц вольфрама [4], происходит увеличение твердости мишени на глубине 10-12 мм, авторы связывают это как с увеличением концентрации вольфрама до 0,49%, так и с возникновением дополнительных напряжений в местах остановки частиц.

Таким образом, разработана схема экспериментальной установки, позволяющая реализовывать явление сверхглубокого проникания для данного ВВ и используемой дисперсности частиц вольфрама. Получены распределения значений твердости по поверхности и глубине образцов для данной схемы обработки. Показано, что использование обработки потоком частиц вольфрама, разогнанных ударной волной и продуктами детонации, приводит к увеличению твердости сварного шва на поверхности образцов и зоны около сварного шва на глубине 4 и 6 мм по сравнению с исходной, а также увеличению твердости поверхности и зоны около сварного шва на глубине 6 мм по сравнению с обработкой только ударной волной.

#### Библиографический список

1. Андилевко, С.К. Исследование эффектов взаимодействия микрочастиц с металлической мишенью в условиях высоких давлений / С.К. Андилевко, В.Г. Горбцов, К.И. Козорезов, С.М. Ушеренко // Физика и техника высоких давлений. – 1984. – Вып.17. – С. 82-85.
2. Ушеренко, С.М. Дальнодействующие поля напряжений вблизи дисперсных частиц, возникающие при взрывном легировании металлических материалов / С.М. Ушеренко, С.И. Губенко, В.Ф. Ноздрин // Металлофизика. – 1991. – Т.13, №7. – С. 57-64.
3. Бекренев, А.Н. Исследование структуры и свойств углеродистых сталей после сверхглубокого проникания высокоскоростных частиц. / А.Н. Бекренев, Р.Г. Кирсанов, А.Л. Кривченко // Физ. прочн. и пластичности металлов и сплавов : тезисы докл. XIV межд. конф., (27-30 июня). – Самара, 1995. – 445 с.
4. Кирсанов, Р.Г. Особенности распределения вольфрама в приповерхностных слоях инструментальных сталей при сверхглубоком проникании порошковых частиц вольфрама / Р.Г. Кирсанов, В.В. Калашников, А.Л. Кривченко // Письма в ЖТФ. – 1996. – Т.22, вып.17. – С. 28-37.

# МАШИНОИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ АПК

УДК 631.363

Новиков В.В. к.т.н., доцент; Беляев Д.В. инженер; Мишанин А.Л. аспирант; Сабельников Д.А.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА ПРЕСС-ЭКСТРУДЕРА

*В статье предложено загрузочное устройство пресс-экструдера, которое позволяет регулировать давление в корпусе, а также нормативное давление в камере, что даст возможность повысить производительность пресс-экструдера за счет увеличения плотности корма в зоне загрузки.*

*In a paper the charging device press - extruder which allows to regulate pressure in the case, and also normative pressure in the chamber that will enable to increase productivity press - extruder at the expense of increase in firmness of a forage in a zone of loading is offered.*

Величина шага винтов транспортирующих и напорных шнеков для различных видов материала колеблется в весьма широких пределах.

Широкий диапазон изменения шага шнеков объясняется не только различными физико-механическими свойствами перемещаемых материалов, но и подходом к решению этого вопроса с различных позиций [1, С. 94].

Нами предлагается загрузочное устройство пресс-экструдера (рис.1) в виде прессующего и подающего шнека, выполненного из упругой полосы в форме прямого геликоида. Данное устройство позволяет регулировать давление в корпусе 1 и нормативное давление в камере 10.

Пресс-экструдер работает следующим образом.

При пуске экструдера подающий шнек 3 забирает измельченный корм из загрузочной воронки 2 и заполняет им камеру 10, откуда корм захватывается задним витком 7 прессующего шнека 4 и, постепенно уплотняясь, перемещается к зазору, образованному между втулкой 11 и конической головкой 13 через который выходит в виде кормовой массы.

Так как производительность подающего шнека 3 вначале больше, чем прессующего шнека 4, корм в камере 10 начинает уплотняться, а подающий шнек упруго сжиматься, уменьшая свой шаг. В результате объем подачи корма уменьшается, пока масса этого объема не сбалансируется с массой уплотненного корма, захватываемого прессующим шнеком 4 при нормативном давлении экструдера –  $P_э$ .

Сбалансировавшийся режим подачи корма выдерживается подающим шнеком 3 при поступлении из загруженной воронки 2 измельченного корма постоянной плотности. Передний виток 9 подающего шнека при этом испытывает нормативное давление  $P_2$  со стороны подаваемого им в камеру 10 измельченного корма.

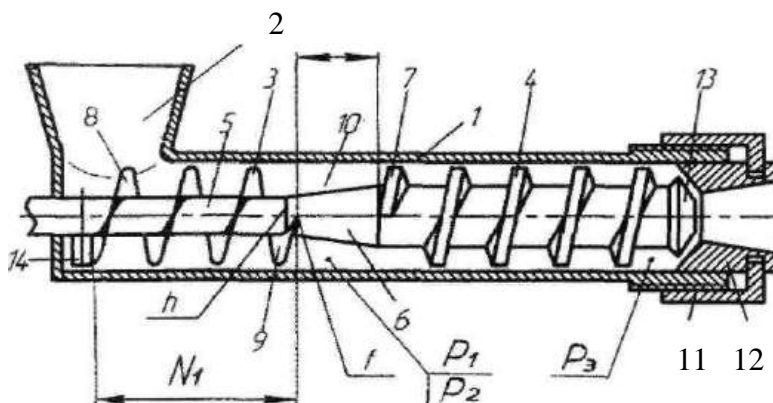


Рис. 1. Экструдер для приготовления кормовой массы:

1 – корпус; 2 – загрузочная воронка; 3 – подающий шнек;  
4 – прессующий шнек; 5 – вал подающего шнека; 6 – окончание  
передней части хвостовика; 7 – задний виток прессующего шнека;  
8 – задний виток подающего шнека; 9 – передний виток подающего  
шнека; 10 – камера; 11 – втулка; 12 – гайка; 13 – коническая головка

ствую разбалансированности режима подачи. Конец  $f$  переднего витка 9 подающего шнека 3 может достичь окончания передней части 6 хвостовика только при минимальном (заданном) давлении  $P_1$  корма в камере 10.

При увеличении плотности корма в загрузочной воронке 2 плотность корма в камере 10 начинает повышаться относительно  $P_2$  и подающий шнек 3, сжимаясь, убавляет подачу в камеру, противодействуя разбалансированности взаимодействия шнеков и нарастанию давления в камере.

Пусковое, нормативное и остановочное давление внутри корпуса 1 устанавливается осевым перемещением втулки 11 посредством гайки 12, в результате чего изменяется зазор между втулкой и конической головкой 13.

Изменение давления внутри корпуса обусловлено увеличением или уменьшением плотности корма за счет изменения объема транспортируемого корма.

Заданный уровень стабилизации процесса экструзии можно выразить зависимостью:

$$\frac{N_1}{N} = 1 - \frac{P_1}{P_2} \left( 1 - \frac{P_3 \varepsilon h \varepsilon F}{P_2 h_n F_n} \right),$$

где  $N_1$  – длина подающего шнека в поджатом состоянии;

$N$  – длина подающего шнека в свободном состоянии;

$P_1$  – минимальное давление перерабатываемого корма в камере;

$P_2$  – нормативное давление перерабатываемого корма в камере;

$P_3$  – нормативное давление в переднем окончании корпуса;

$h$  – шаг прессующего шнека;

$h_n$  – шаг подающего шнека;

$F$  – площадь фронтальной поверхности витка прессующего шнека;

$F_n$  – площадь фронтальной поверхности витка подающего шнека.

Таким образом, данное устройство позволяет повысить производительность пресс-экструдера за счет увеличения плотности корма в зоне загрузки и обеспечить заданный уровень стабилизации процесса экструдирования.

#### Библиографический список

1. Фокин, А.В. Обоснование оптимального шага винта шнекового питателя. – Горький, 1980. – 220с.

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ ЭКСТРУДАТА

*В статье описано устройство для определения динамической вязкости экструдата находящегося непосредственно в процессе экструзии, а также описан принцип его работы, приведена расчетная формула и схема установки.*

*In an article the device for definition of a dynamic viscosity of immediately during an extrusion extrudat and also the principle of its operation is described, formula and the scheme of device are shown.*

Экструдирование – один из перспективных технологических процессов, позволяющих получить разнообразные корма для сельскохозяйственных животных. Методы экструзии для обработки сырья, можно разделить на три основных типа.

Холодная экструзия – обработка сырья при температурах ниже или примерно равных температуре клейстиризации с целью придания экструдату определенной формы.

Влажная экструзия – обработка сырья при температурах, превышающих температуру клейстиризации крахмала, но не выше 120°C для получения полуфабрикатов или продуктов с частичным сохранением натуральных свойств сырья.

Высокотемпературная экструзия – обработка сырья при температуре более 393°C с целью получения продуктов с повышенной степенью декструкции и полностью готовых к употреблению.

В настоящее время существуют различные конструкции одношнековых пресс-экструдеров, применяемых в производстве кормов методом экструзии. Общими для всех перечисленных типов пресс-экструдеров являются следующие характерные признаки.

1) Наличие одного шнека, установленного (как правило, консольно) в соответствующем корпусе, который имеет одно загрузочное отверстие и одно выходное отверстие с примыкающим к нему формующим инструментом.

2) В каждом нормально работающем шнековом пресс-экструдере происходят следующие процессы: продвижение перерабатываемого материала к выдавливающему концу шнека, перемешивание, нагрев его до необходимой температуры за счет трения исходного материала о рабочие органы, или с помощью наружных нагревательных элементов, пластикация или расплавление, гомогенизация и, наконец, выдавливание через формующий инструмент благодаря образуемому шнеком давлению.

3) В шнековом пресс-экструдере может перерабатываться сырье, весьма различающееся по своим физико-механическим свойствам. Сырье может загружаться в виде цельного или дробленого зерна, гранул, паст и т.д.

При работе пресс-экструдера в изотермическом режиме температура процесса поддерживается за счет работы вязкого трения и за счет работы сил внешнего трения материала о шнек и стенки цилиндра. Поэтому необходимо знать величину коэффициентов вязкости, т.к. от этого зависит правильный выбор теплового режима экструдера и затрачиваемой мощности. Значение коэффициентов вязкости обрабатываемого продукта также необходимо для расчета оптимальной геометрии шнека и определения производительности экструдера. Следовательно, необходимо знать коэффициенты вязкости материала в зависимости от температуры, влажности экструдата и скорости скольжения, присущих процессу экструзии.

Известные устройства для определения динамической вязкости экструдата позволяют работать лишь с массой извлеченной из цилиндра пресс-экструдера, но в этом случае экструдат меняет свои характеристики, это связано с полимеризацией крахмала и белка, находящихся в экструдированном корме, что даёт значительную погрешность измерений.

Для определения динамической вязкости экструдата непосредственно в процессе экструзии нами была разработано устройство (рис.1), которое монтируется в корпус экспериментального

пресс-экструдера с помощью штуцеров 1 и 2. В результате, экструдат из полости пресс-экструдера под давлением поступает во внутренние полости малого цилиндра 3 и большого 4, не изменяя своих физико-механических свойств. Наружные цилиндры приводятся во вращение электродвигателем через редуктор 8. За счет сил вязкого трения измерительный диск 6 и цилиндр 7 проворачивают вал 5, угол отклонения которого от положения покоя определяется по показаниям маятника 9.

Определив частоту вращения наружного цилиндра 7 и угол отклонения маятника, динамическая вязкость экструдата находится из следующей зависимости:

$$\mu = \frac{GL_2 h \sin \alpha}{L_1 n \pi^2 d^3},$$

где  $G$  – масса маятника,  $H$ ;

$L_2$  – длина маятника,  $m$ ;

$h$  – зазор между внутренней поверхностью цилиндра 4 и наружной цилиндра 7,  $m$ ;

$\alpha$  – угол отклонения маятника от вертикали, град;

$L_1$  – длина боковой поверхности измерительного цилиндра 7,  $m$ ;

$n$  – частота вращения наружного цилиндра 4,  $c^{-1}$ ;

$d$  – наружный диаметр измерительного цилиндра 7,  $m$ .

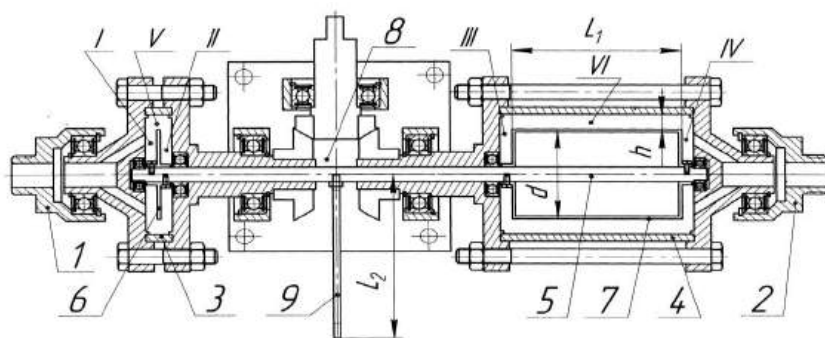


Рис. 1. Устройство по определению динамической вязкости экструдата:

- 1, 2 – штуцера; 3 – малый наружный цилиндр; 4 – большой наружный цилиндр; 5 – вал; 6 – измерительный диск; 7 – измерительный цилиндр; 8 – редуктор; 9 – маятник; I, II, III, IV – торцевые зазоры; V, VI – боковые зазоры

Важно, что частоты вращения наружных цилиндров 3 и 4 равны и противоположны, равны их внутренние диаметры, наружные диаметры измерительных элементов (6, 7) и торцевые зазоры (I, II, III, IV) равны соответственно, а также толщина измерительного диска 6 незначительна. Таким образом, воздействие экструдата на торцевые поверхности цилиндра 7 не учитывается, вследствие исключения их воздействия посредством торцевых поверхностей диска

6. То есть устройство при замере крутящих моментов уменьшает крутящий момент измерительного цилиндра 7 на величину крутящего момента, передаваемого экструдатом на торцы измерительного диска 6.

Широкое распространение способа экструдирования сдерживается из-за недостаточной изученности этого процесса и отсутствия обоснованных технологических режимов работы пресс-экструдеров и больших удельных энергозатрат.

Предложенное устройство позволит определить динамическую вязкость экструдата находящегося непосредственно в пресс-экструдере. Поэтому разработка технических средств для производства экструдированных продуктов является актуальной задачей.

#### Библиографический список

1. Макаров, Е.С. Определение параметров процесса экструзии кормов и разработка методики расчета пресс-экструдера : дис. ... канд. техн. наук. – М., 1985. – 190с.
2. Новиков, В.В. Исследование рабочего процесса и обоснования параметров пресс-экструдера для приготовления карбамидного концентрата : дис. ...канд. техн. наук. – Саратов : СИМСХ, 1981. – 157с.

## СПОСОБ СТАБИЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ЭКСТРУЗИИ

*В статье описано устройство для стабилизации процесса экструзии путем регулирования давления внутри корпуса пресс-экструдера. Таким образом обеспечивается стабилизация процесса экструдирования.*

*In a paper the device for stabilization of process of an extrusion is circumscribed, by regulation of pressure inside the case press - extruder. Thus stabilization of process extruded is ensured.*

Производство кормов методом экструзии на шнековых прессах представляет собой сложный многопараметрический процесс.

Качество переработки зерна в пресс-экструдерах на корм животным должно соответствовать предъявляемым требованиям (например, степени декстринизации зерна и степени взрыва). Процесс экструдирования зерна должен иметь надежный способ быстрого регулирования качества взорванного продукта на выходе. Такими регуляторами являются: расход продукта и изменение сопротивления на выходе.

В большинстве случаев на выходе продукта из цилиндра пресс-экструдера устанавливается устройство с изменяемым сопротивлением, реже в комплект машины вводится набор сменных элементов (фильер), которые меняются в зависимости от вида перерабатываемого материала. Однако эти способы не обеспечивают быстрого и надежного регулирования процесса, так как разность давлений в тракте экструдера и на выходе из установки зависит от реологических свойств материала, влажности и других параметров, которые непрерывно изменяются. Для достижения технологических требований необходимы практически осуществимые и надежные способы быстрого регулирования качества взорванного продукта за счет изменения сопротивления на выходе из цилиндра пресс-экструдера.

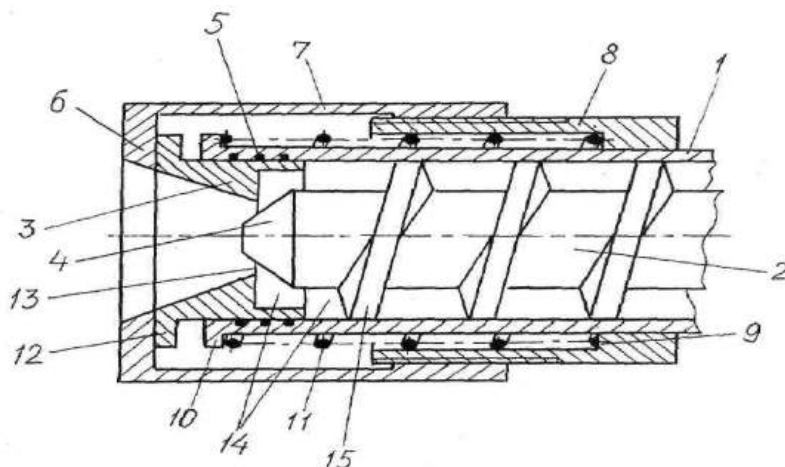


Рис. 1. Экструдер для переработки кормового продукта  
1 – корпус; 2 – прессующий шнек; 3 – втулка; 4 – передний конец прессующего шнека; 5 – сальниковое уплотнение; 6 – внутренний фланец; 7 – гайка; 8 – стакан; 9 – заплечико; 10 – наружный венец; 11 – пружина сжатия; 12 – буртик; 13 – кольцевой канал; 14 – камера; 15 – шнек

Нами предлагается устройство (рис.1) для регулирования давления внутри корпуса, выполненное в виде втулки 3, установленной в корпусе 1 с возможностью осевого перемещения относительно переднего конца 4 прессующего шнека.

Втулка 3 с внутренней поверхностью переднего окончания корпуса сопряжена через сальниковое уплотнение 5 и опирается передним торцом на внутренний фланец 6 гайки 7. Гайка 7 навёрнута (посредством мелкой резьбы) на стакан 8, имеющий внутреннее заплечико 9, которым стакан охватывает корпус 1 с возможностью

продольного перемещения относительно последнего. На переднем конце корпуса 1 выполнен (например, навёрнут на корпус на резьбе) наружный венец 10, на который опирается пружина сжатия 11, опирающаяся вторым концом на внутреннее заплечико 9 стакана 8.

При незаполненном экструдере под действием пружины сжатия 11 втулка 3 опирается на торец корпуса 1 своим буртиком 12 в положении, при котором кольцевой канал 13 между втулкой и передним концом 4 прессующего шнека практически отсутствует, т.е. втулка относительно последнего образует гарантированный зазор.

При установившемся режиме работы экструдера давление в передней части корпуса (между передним витком прессующего шнека и упомянутой втулкой) соответствует усилию пружины сжатия. При повышении давления в передней части корпуса, в результате возросшей массы (плотности) экструдированного продукта, подаваемого в переднюю часть корпуса, втулка преодолевает усилие пружины сжатия и смещается (скользя по сальниковому уплотнению) вперед относительно переднего конца прессующего шнека. В результате площадь поперечного сечения кольцевого канала между втулкой и передним концом прессующего шнека увеличивается, повышая выход переработанного кормового продукта в виде экструдата, пока его масса не сбалансируется с возросшей перед этим массой экструдированного продукта, подаваемого в переднюю часть корпуса передним витком прессующего шнека. А при падении давления между передним витком прессующего шнека и втулкой, последняя под действием пружины сжатия смещается внутрь корпуса, пока уменьшение площади поперечного сечения упомянутого у кольцевого канала не сбалансирует уменьшающуюся при этом массу экструдата на выходе с уменьшившейся перед этим массой экструдированного продукта, поступающего в переднюю часть корпуса. Такое реагирование втулки на изменение в передней части корпуса давления ограничивает его чрезмерное нарастание или падение, выдерживая отклонения давления в заданных нормативных (расчетных, опытных) пределах, поскольку при смещениях втулки вперед или назад давление повышается или понижается ограниченно – в той степени, которая сбалансирует изменение массы экструдата на выходе относительно изменения массы экструдированного продукта, поступающего в переднюю часть корпуса.

При правильном выборе и согласованности характеристики пружины 11, геометрии кольцевого канала 13 и объема камеры 14 стабилизируется процесс экструдирования, ограничиваются колебания давления и температуры в цилиндре пресс-экструдера в заданных пределах.

Таким образом, обеспечивается стабилизация процесса экструдирования.

#### Библиографический список

1. Макаров, Е.С. Определение параметров процесса экструзии кормов и разработка методики расчета пресс-экструдера : дис. ... канд. техн. наук. – М., 1985. – 190 с.

УДК 631.363

Новиков В.В. к.т.н., доцент; Денисов С.В. к.т.н., ст. преподаватель; Зотеев С.В. студент

### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ШАГА ВИНТА ШНЕКА В ЗОНЕ ПИТАНИЯ

*В статье приводятся результаты теоретических исследований по вопросу выбора оптимального шага винта шнека в зоне питания, которые позволяют получить аналитическое выражение зависимости шага шнека, в зоне питания от конструктивных параметров шнека и физико-механических свойств экструдированного материала.*

*In a article results of theoretical researches on a question of sampling of an optimum lead of a screw of a screw conveyor in a zone of a feed which allow to receive an analytical form of dependence of a step of a screw conveyor, in a zone of a feed from design parameters of a screw conveyor and physics-mechanical properties of a material is extruded are result..*

Шнек в зоне питания пресс-экструдера выполняет одновременно функции как транспортирующего, так и напорного шнеков. Правильный выбор угла подъема винтовой поверхности шнека, характеризуемого обычно отношением шага шнека к его диаметру, в решающей степени определяет основные показатели работы шнека – производительность,

энергоёмкость, а также металлоёмкость и габаритные размеры пресс-экструдера.

До настоящего времени нет единого мнения по вопросу выбора оптимального шага винтов транспортирующих и напорных шнеков и для шнеков обеих групп, рекомендуемая величина его может колебаться в весьма широких пределах. Широкий диапазон изменения шага шнеков объясняется не только различными физико-механическими свойствами перемещаемых материалов, но и подходом к решению этого вопроса с различных позиций [1].

Шаг шнека назначают исходя преимущественно из цели достижения наибольшей производительности, определяемой наибольшей скоростью поступательного перемещения материала в винтовом канале.

Для шнеков напорной группы приемлемым считают шаг прессующих витков, при котором обеспечиваются меньшие энергозатраты при необходимой производительности механизма. При этом теоретическим обоснованием к выбору величины оптимального угла подъема винтовой поверхности часто является его значение, полученное из формулы к.п.д. винтовых пар:

$$\alpha = 45 - \frac{\varphi}{2}, \quad (1)$$

где  $\varphi$  – угол трения материала о винтовую поверхность.

Поскольку с изменением шага винта изменяются не только энергетические показатели, но и транспортирующая способность, более целесообразным следует считать подход к выбору оптимального шага винта шнека с учетом одновременно обоих показателей, т.е. оценивать работу механизма по величине удельных энергозатрат и производительности.

Определим оптимальный шаг винта шнека в зоне питания по величине удельных энергозатрат, определяемых отношением потребляемой мощности привода шнека к его производительности при текущем значении угла подъема винтовой поверхности.

Исходя из баланса энергозатрат на привод шнека, необходимо отметить, что энергетические показатели работы шнека в зоне питания определяются мощностью, потребляемой для преодоления момента сопротивления, возникающего между шнеком и перемещаемой массой при перемещении последней в сторону зоны прессования. Численные значения остальных составляющих потребной мощности привода невелико, а их влияние на величину энергозатрат при изменении шага шнека будет незначительным. Следовательно, о величине энергозатрат на привод шнека можно судить по значению момента сопротивления вращению напорного витка. Выражение для определения момента, необходимого для вращения напорного витка, имеет вид [2]

$$M_k = P \frac{D}{2} \operatorname{tg}(\varphi + \alpha), \quad (2)$$

где  $P$  – осевое усилие, необходимое для перемещения слоя материала, МПа;

$D$  – диаметр шнека, м;

$\alpha$  – угол наклона винтовой линии шнека, град.;

$\varphi$  – угол трения,  $\varphi = \operatorname{arctg} f$ .

Умножив уравнение (2) на угловую скорость шнека  $\omega$  и выразив осевое усилие через давление  $P$  и площадь поперечного сечения шнека  $S_{\text{ш}} = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$  получим выражение для определения потребляемой мощности:

$$N = P \cdot \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \cdot \frac{D}{2} \omega \cdot \operatorname{tg}(\varphi + \alpha), \quad (3)$$

где  $d$  – диаметр вала шнека, м.

Производительность шнека в зоне питания определяется уравнением

$$Q = \frac{(D - h)}{4} \cdot \omega \cdot S \cdot h \cdot \rho \cdot \psi \cdot \kappa_n \cdot \frac{\cos \alpha \cos(\alpha + \varphi)}{\cos \varphi}, \quad (4)$$

где  $\psi$  – коэффициент заполнения межвиткового объема шнека;

$\kappa_n$  – коэффициент, учитывающий сжатие спирали шнека;

$S$  – шаг шнека, м;



$\rho$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;

$h$  – глубина канавки, м.

Заменяя шаг шнека, выражением как функцией угла подъема винтовой поверхности  $S = \pi D \sin \alpha$ , получим уравнение производительности шнека в зоне питания:

$$Q = \frac{(D-h)}{4} \cdot \omega \cdot \sin \alpha \cdot \pi \cdot D \cdot h \cdot \rho \cdot \psi \cdot \kappa_n \cdot \frac{\cos \alpha \cos(\alpha + \varphi)}{\cos \varphi}. \quad (5)$$

Выражение, определяющее величину удельных затрат энергии, получим взяв отношение  $N$  к  $Q$ . В результате после нескольких преобразований имеем

$$A = \frac{P \cdot (D^2 - d^2) \cdot \operatorname{tg}(\varphi + \alpha) \cos \varphi}{2(D-h) \cdot \sin \alpha \cdot h \cdot \rho \cdot \psi \cdot \kappa_n \cdot \cos \alpha \cos(\varphi + \alpha)}. \quad (6)$$

Анализ полученного уравнения показывает, что при заданных условиях работы удельная энергоёмкость зависит от угла подъема винтовой линии шнека и физико-механических свойств экструдированного материала.

Для определения шага винта при подаче материала с известным коэффициентом трения достаточно взять первую производную  $\frac{dS}{d\alpha}$  от выражения

$$S = \frac{\operatorname{tg}(\varphi + \alpha) \cos \varphi}{\sin \alpha \cos \alpha \cos(\varphi + \alpha)}, \quad (7)$$

и приравнять ее нулю.

В результате теоретических исследований получено аналитическое выражение позволяющее, установить зависимость шага шнека в зоне питания от конструктивных параметров шнека пресс-экструдера и физико-механических свойств экструдированного материала.

#### Библиографический список

1. Фокин, А.В. Обоснование оптимального шага винта шнекового питателя пневмотранспортера // Совершенствование сельскохозяйственной техники, применяемой в животноводстве. – Т.141. – Горький, 1980. – С 33-38.
2. Особов, В.И. Машины для брекетирувания растительных материалов. – М. : Машиностроение, 1971. – 252 с.

УДК 539.375, 631.333.001.33

Клюканов А.В. аспирант (Самарская государственная академия путей сообщения)

### ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ СЛЕЖАВШИХСЯ УДОБРЕНИЙ В ДРОБИЛКИ ВАЛКОВОГО ТИПА

*В работе определены силовые характеристики процесса измельчения слежавшихся удобрений в дробилке валкового типа. Установлена наиболее приемлемая форма рабочей поверхности механизма дробления. Дан краткий анализ механики разрушения слежавшихся удобрений.*

*In this article the storage fertilizers crushing process power characteristics in cylinder type crushers are determined. The most comprehensible form of crushing mechanism working surface is established. The brief analysis of stored fertilizers destruction process is given.*

Одним из эффективных способов устранения слеживаемости в сфере обращения удобрений является механическое измельчение [1]. Процесс измельчения слежавшихся удобрений связан с преодолением сил сцепления между частицами, что требует больших затрат механической энергии. Количество энергии необходимое для разрушения во многом зависит, от величины действующего усилия и от способа его приложения.

В качестве измерительных средств, широко используемых в среде активного контроля для определения силовых показателей, применяют механические, электроконтактные, пневматические,

индуктивные и другие приборы [2]. Наиболее простыми и достаточно надежными являются механические измерительные средства. К ним в частности относятся, и динамометры стрелочного типа, принцип действия, которых основан на определении крутящего момента рабочего механизма машины.

В работе в качестве такого механизма рассматривается валок-рабочий орган, разработанной нами дробилки валкового типа [3].

Динамометрический ключ (рис.1) указанного типа состоит из следующих основных деталей: 1 – гибкий рычаг, 2 – стрелка, 3 – измерительная шкала, 4 – торцевое крепление, 5 – накидная головка. Под цифрой 6 и 7 обозначен образец слежавшейся среды и рабочий механизм соответственно. При испытании валок – рабочий орган вращается против часовой стрелки.

Динамометрический ключ имеет следующие технические характеристики: максимальный момент 200 Нм, цена деления 10 Н, длина 320 мм, масса 1кг.

В качестве испытуемой слежавшейся среды была принята аммиачная селитра с прочностью структур на сжатие 6-7 кг/см<sup>2</sup> и влажностью по Фишеру 1,2-1,5%. Размеры образцов устанавливают исходя из регламента эксперимента. Испытания проводят на трех формах лезвия рабочего органа: прямая, клиновидная и зубчатая.

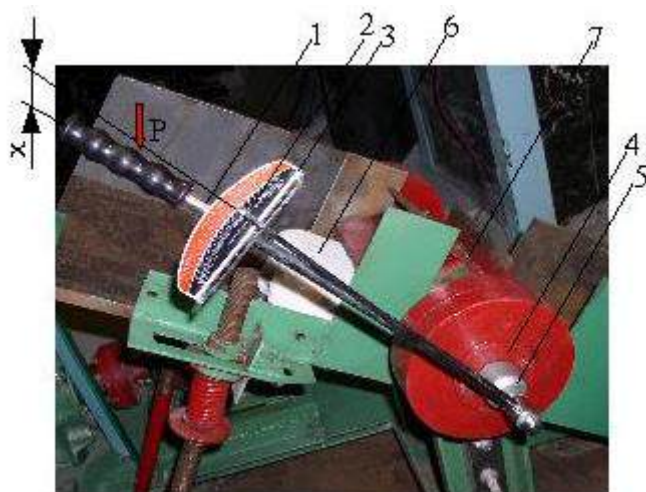


Рис.1. Динамометрический ключ для определения усилия разрушения

Рабочий цикл осуществляется следующим образом. На шестигранную оправку торцевого крепления 4 навешивают динамометрический ключ. К фиксированному положению ключа прикладывают усилие по направлению стрелки. Рычаг 1 под действием нагрузки изгибается на величину  $x$  (при этом линия измерения стрелки всегда остается неподвижной) и передает крутящий момент рабочему механизму 7, тот в свою очередь оказывает силовое воздействие на испытуемый образец 6. При дальнейшем увеличении нагрузки слежавшийся материал распадается на несвязные части. Синхронно с разрушением образца по шкале фиксируются показания крутящего момента.

Определив крутящий момент механизма дробления, устанавливают следующие параметры: критическое усилие разрушения и мощность процесса измельчения слежавшихся удобрений:

Критическое усилие разрушения устанавливают из выражения:

$$F = \frac{M}{d}, \quad (1)$$

где  $F$  – критическое усилие разрушения, Н;

$M$  – крутящий момент валка (статический), Нм;

$d$  – плечо силы относительно центра вращения валка до кромки рабочего органа, м.

Мощность процесса измельчения находят из формулы:

$$W = M\omega, \quad (2)$$

где  $W$  – мощность процесса измельчения, Вт;

$\omega$  – угловая скорость вращения механизма дробления, рад/с.

Проведенные исследования показывают, что слежавшиеся удобрения в разработанной конструкции валкового типа разрушаются в результате отрыва части структуры от целого по квазихрупкому типу [4].

Наглядно установлено, что разрушение в значительной мере зависит от контакта рабочей поверхности со слежавшейся средой. Так при сплошной, зубчатой и клиновидной формах лезвия

нарушение сплошности происходит при разных значениях крутящего момента: 85, 75 и 69 Нм. Сила, которую необходимо приложить для разрушения слежавшегося образца, равна 930, 820 и 760 Н соответственно для прямой, клиновидной и зубчатой формы лезвия.

Полученные данные позволяют построить графическую зависимость мощности процесса измельчения от частоты вращения рабочего механизма при разных формах линии лезвия рабочего органа (рис.2).

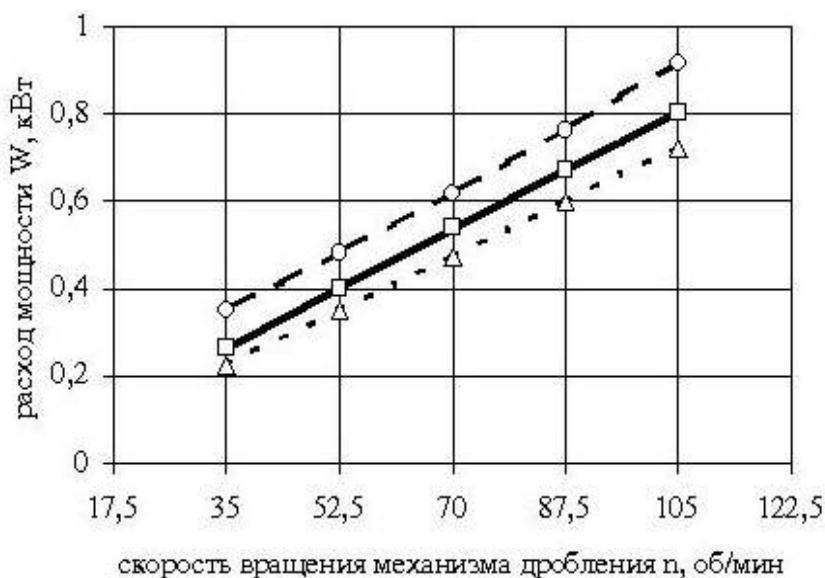


Рис. 2 Зависимость мощности процесса измельчения от частоты вращения рабочего механизма при разных формах лезвия рабочего органа:

○ — сплошная; □ — клиновидная; Δ — зубчатая

Анализ графической зависимости показывает, что с позиции затрачиваемой работы в единицу времени предпочтительной формой лезвия является зубчатая. Расстояние между вершинами зубьев следует принимать не менее 6 мм, что соответствует длине трещины в слежавшихся гранулированных удобрениях ГОСТа 20432-83 и не более 20 мм из соображений получения максимальной доли готового продукта в результате воздействия рабочих органов.

Слежавшиеся удобрения, обладая свойствами изотропности, не являются вполне однородными средами, поэтому представленные закономерности дают верную, хотя и несколько приближенную оценку процессу измельчения.

#### Библиографический список

1. Денисов, В.В. Восстановление сыпучести слежавшихся минеральных удобрений / В.В. Денисов, А.В. Клюканов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук : специальный выпуск «Транспортно-технологические системы». – Самара, 2005. – С. 52-56.
2. Активный контроль в машиностроении / под. ред. Е.И. Педея. – М. : Машиностроение, 1978. – 352 с.
3. Клюканов, А.В. Повышение эффективности машинной технологии для восстановления сыпучести слежавшихся удобрений // Прогрессивные технологии в современном машиностроении : сб. статей 2 Международной научно-технической конференции. – Пенза, 2006. – С. 42-45.
4. Черепанов, Г.П. Механика хрупкого разрушения. – М. : Наука, 1974. – 640 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СВОДОРАЗРУШИТЕЛЯ В БУНКЕРЕ С ЩЕЛЕВЫМ ДНИЩЕМ ПРИ ВЫПУСКЕ ТРУДНОСЫПУЧИХ ГРУЗОВ

*В статье приводится экспериментальное подтверждение теоретических исследований влияния геометрических параметров рабочих органов на производительность и создаваемое ими сопротивление при движении механического сводоразрушителя в бункере с плоским щелевым днищем.*

*In article experimental confirmation of theoretical researches of influence of geometrical parameters of working bodies on productivity and resistance created by them is resulted at movement mechanical arch destroyer in the bunker with the flat slot-hole bottom.*

В связи с сезонностью проведения полевых работ, а также для обеспечения непрерывности процессов производства в перерабатывающей и других отраслях сельского хозяйства возникает необходимость в создании запасов продукции и сырья сельскохозяйственного назначения.

Для хранения сыпучих грузов существует несколько технологий:

- 1) тарная;
- 2) напольная;
- 3) бестарная (бункерно-силосная).

Для автоматизации и механизации производства, использующего сыпучие грузы, наиболее привлекательной является последняя. Однако в случае хранения слёживающихся, трудносыпучих грузов возникают проблемы. Для решения этих проблем предложена бункерная установка с механическим сводоразрушителем и плоским щелевым днищем [1].

Для определения влияния различных конструктивных и режимных факторов на работу бункерного устройства были проведены теоретические исследования [2]. Для подтверждения теоретических предпосылок и определения основных конструктивно-режимных параметров щелевого бункера с механическим сводоразрушителем были проведены лабораторные исследования экспериментальной установки.

В программу исследований входило:

- а) исследование влияния высоты засыпки материала в бункере и вида материала на удельную энергоёмкость (сила сопротивления);
- б) исследование влияния ширины щелевого отверстия и вида материала на производительность (масса материала) процесса выгрузки компонентов комбикорма.

Для изучения влияния высоты засыпки на силу сопротивления движению рабочих органов в слое материала была проведена серия опытов. В исследованиях использовались следующие сыпучие материалы:

- мяскостная мука влажностью 11%;
- мел дисперсный влажностью до 8%;
- мука ржаная обдирная влажностью 6%.

Загружался материал на определённую высоту, и измерялась сила, необходимая для смещения сводоразрушителя. На основе полученных данных был построен график (рис.1).

На основе анализа результатов можно сделать вывод, что аналитическая зависимость силы сопротивления от высоты насыпи находит экспериментальное подтверждение и хорошо описывает характер изменения этой силы. С увеличением плотности материала и высоты засыпки груза сила сопротивления перемещению рабочего органа увеличивается. Отличие экспериментальных значений от теоретических объясняется наличием неучтённых дополнительных сопротивлений, таких как сила трения в подшипниках и трение качения роликов по направляющим.

Для получения экспериментальной зависимости массы выгружаемого материала за один рабочий ход сводоразрушителя от величины выпускной щели взвешивалась выгруженная порция груза при фиксированном значении выпускной щели. Минимальным был выбран зазор 15 мм, так как толщина поводка рабочего органа составляет 10 мм – исследования ниже этого значения не

проводились. Высота засыпки материала в бункере составляла 1 м. Результаты отображены в виде графика (рис. 2).

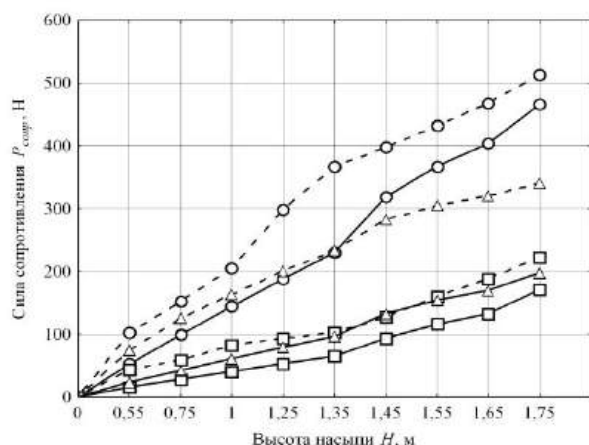


Рис. 1. Зависимость силы сопротивления от высоты засыпки груза:

○ – мел; □ – мясокостная мука;  
 △ – ржаная мука; — теория;  
 ---- эксперимент

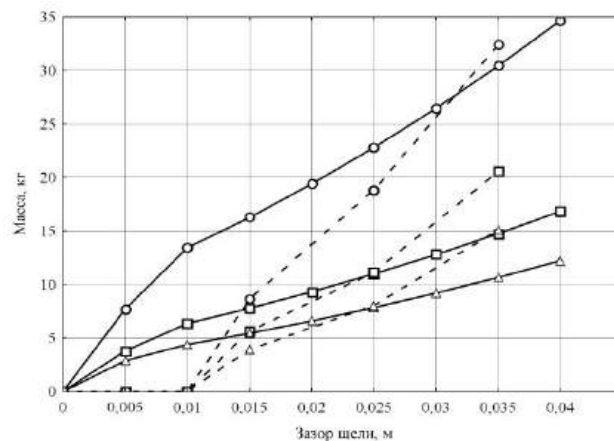


Рис. 2. Зависимость массы материала, выгружаемой за один рабочий ход, от зазора между решетками в днище установки:

○ – мел; □ – мясокостная мука;  
 △ – ржаная мука; — теория; ---- эксперимент

Из сравнения полученных теоретической и экспериментальной зависимостей массы материала от величины выпускной щели (рис. 2) видно, что материал с высокой плотностью выгружается менее активно, чем это прогнозируется теорией. Объясняется это явлением «захлёбывания» выпускных щелей материалом – из-за большой массы элемента обрушившегося груза быстро возрастает боковое давление, приводящее к заклиниванию (образуется свод). Масса выгруженного, менее плотного материала, с увеличением зазора приближается к прогнозируемой. При величине выпускной щели более 25 мм результаты, полученные экспериментально, превосходят теоретические, так как увеличивается время образования свода, материала истекает больше.

Предложенные ранее аналитические выражения [2] для нахождения силы сопротивления и производительности установки нашли экспериментальное подтверждение. Однако для получения более достоверных значений необходимо введение в формулы поправочных коэффициентов, учитывающих влияние физико-механических свойств на прочностные характеристики насыпного груза, которые сложно описываются математически.

#### Библиографический список

1. Косяненко, А.А. Результаты экспериментальных исследований бункера с щелевым днищем // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – Самара, 2006. – С. 196-198.
2. Горюшинский, В.С. Энергоёмкость выпускного механизма бункера для загрузки кузовов вагонов / В.С. Горюшинский, А.А. Косяненко // Известия Самарского научного центра Российской академии наук : специальный выпуск «Проблемы железнодорожного транспорта на современном этапе развития». – Самара, 2006. – С. 259-260.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДОЗАТОРА-СМЕСИТЕЛЯ

*Представлены результаты экспериментальных исследований дозатора-смесителя, в частности зависимости качества смешивания и производительности от конструктивно-технологических параметров устройства.*

*Results of experimental researches of the batcher-mixer are submitted, in particular to dependence of quality of mixing and productivity on constructive - technological parameters of the device.*

В рамках научной работы по исследованию дозатора-смесителя, используемого для приготовления зерносмесей и комбикормов, были проведены экспериментальные исследования, целью которых была проверка теоретических выводов и предположений, а также определение зависимостей, которые не удалось выявить аналитическим путём.

Технологический процесс дозатора-смесителя [1] можно охарактеризовать двумя основными параметрами: качество смешивания или однородность готовой смеси и производительность.

В задачу экспериментальных исследований входило определение зависимости качества смешивания и производительности от конструктивно-режимных параметров. На основе предыдущих исследований и теоретического анализа в качестве факторов были выбраны: частота вращения приводного вала, высота поднятия манжеты и угол постановки пластин в горловине дополнительной воронки. Кроме того, определялась зависимость качества смешивания от наличия и размеров окон в основной воронке.

Экспериментальные данные позволили выявить взаимосвязь контролируемых параметров от регулируемых. Получены математические модели для качества смешивания:

$$\gamma = 0,711896 - 0,112831 x - 0,044391 y - 0,037173 z - 0,000684 x^2 + 0,12439 y^2 + \\ + 0,021812 z^2 - 0,0291256 xy + 0,017375 xz - 0,013125 yz + 0,012875 xyz,$$

где  $x$  – частота вращения вала, об/мин;

$y$  – высота поднятия манжеты, мм;

$z$  – угол постановки пластин в горловине дополнительной воронки, град.

Из анализа графической зависимости (рис. 1) видно, что качество смешивания улучшается при увеличении угла наклона пластин в горловине дополнительной воронки, что вполне согласуется с теоретическим анализом, и напротив, уменьшается при повышении частоты вращения вала и поднятии манжеты. Однако было также выявлено, что качество смешивания зависит от наличия окон в основной воронке: в случае их отсутствия качество смешивания резко ухудшалось с увеличением частоты вращения и высоты поднятия заслонки (при 5 об/мин – 0,95, а при 25 об/мин – 0,3); при наличии окон (4 окна размерами 5х165 мм) наблюдалось, что качество смешивания при увеличении производительности падает, но незначительно.

Для производительности также была получена математическая модель:

$$Z = 4,01558 + 1,26588 x + 0,444613 y + 0,1547704 x^2 + 0,1202 y^2 + 0,077396 xy,$$

где  $x$  – частота вращения вала, об/мин;

$y$  – высота поднятия манжеты, мм.

Как видно из графической зависимости (рис. 2) производительность дозатора-смесителя повышается при увеличении частоты вращения вала и высоты поднятия манжеты. Кроме того, из дополнительной серии опытов выявлено, что на производительность оказывает влияние и высота скребков – чем выше скребок, тем больше производительность.

На всём исследуемом интервале частот вращения вала производительность дозатора-смесителя увеличивалась, что соответствует участку 0-1 теоретической зависимости, показанной на рисунке 3.

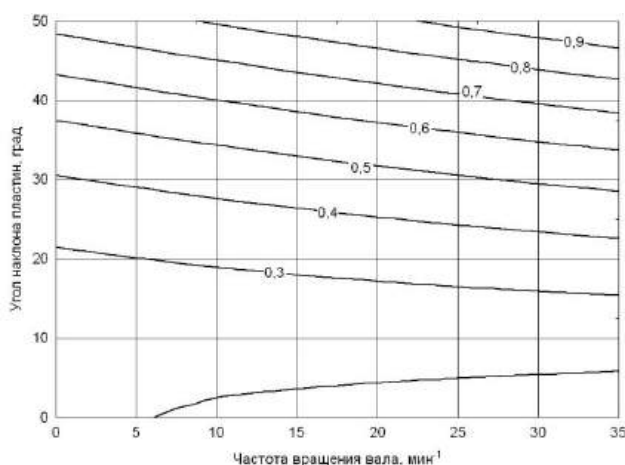


Рис. 1. Зависимость качества смешивания от угла постановки пластин и частоты вращения вала, при высоте открытия манжеты 30 мм и окнах размерами 5х165 мм х 4 шт.

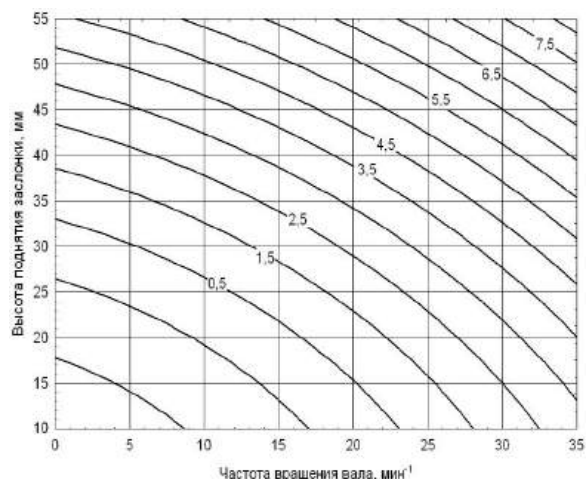


Рис. 2. Зависимость производительности (т/ч) дозатора-смесителя от высоты поднятия манжеты и частоты вращения вала

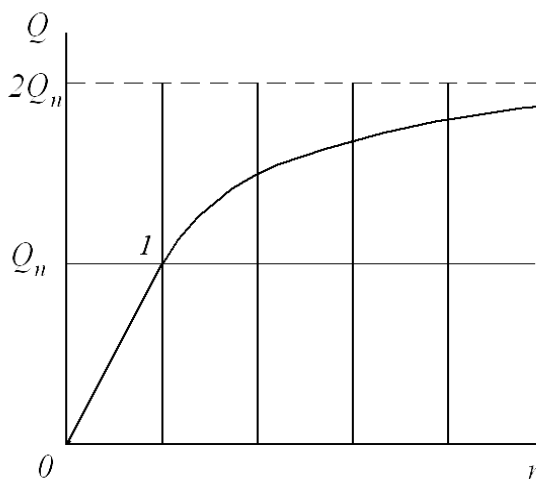


Рис. 3. Теоретическая зависимость производительности от частоты вращения вала

При дальнейшем повышении частоты вращения производительность приближается к асимптоте – производительности истечения из бункера без дна.

Проведённые исследования подтвердили теоретические предположения, а также позволили выявить зависимости, которые не удалось получить аналитическим путём.

#### Библиографический список

1. Фролов, Н.В. Снижение энергоёмкости процессов дозирования и смешивания при подготовке кормосмесей / Н.В. Фролов, Г.С. Мальцев // Актуальные проблемы сельскохозяйственной науки и образования : сб. научных трудов 2 Международной научно-практической конференции. – Самара, 2005. – С. 257-259.

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ СУСПЕНЗИЙ В ТОНКОСЛОЙНЫХ ОТСТОЙНИКАХ

*В статье изложены основные научные предпосылки для совершенствования процесса разделения суспензий на фракции в тонкослойных отстойниках. Определены основные факторы, влияющие на качество процесса.*

*Main scientific reasons of suspensions fractioning process improvement in thin filed bowls have been described in the article. Main factors effecting the process quality have been determined.*

Наиболее распространенными способами выделения механических примесей из сточных вод являются отстаивание, в том числе тонкослойное, и фильтрование. Однако традиционно используемые конструкции отстойников имеют достаточно большие габариты, требуют значительных капитальных и эксплуатационных затрат. Поэтому возникает необходимость поиска путей создания малогабаритных высокопроизводительных тонкослойных отстойников.

Тонкослойные отстойники позволяют интенсифицировать процесс осаждения примесей воды путем отстаивания в тонком слое. Сущность метода заключается в ламинаризации потока воды, при котором исключается влияние турбулентных потоков. В тонкослойном отстойнике происходит грубодисперсная фильтрация, позволяющая отфильтровывать около 80% взвешенных частиц.

Взвешенные загрязнения выделяются из жидкости, в основном механическим путем – в силовом поле или на пористых перегородках. Процесс осаждения взвешенных веществ зависит от ряда факторов, изучение которых имеет важное значение в технологии очистки вод.

Достоинства тонкослойных отстойников заключаются в их экономичности вследствие небольшого строительного объема, возможности использования пластмасс, что упрощает их изготовление, уменьшает массу и, следовательно, снижает стоимость.

Расчет сооружений, в которых осуществляется отстаивание (отстойники, песколовки и т.д.) базируется на основной гидравлической характеристике взвешенных веществ – гидравлической крупности, т.е. скорости равномерного падения твердой одиночной частицы в стоячей воде. Такое падение называется свободным. Теоретически свободное осаждение имеет место при движении индивидуальной частицы в бесконечно большом объеме жидкости. Практически же закономерности свободного осаждения заметно не нарушаются при объемной концентрации осаждающихся частиц до 0,5-1 %. Это соответствует весовой концентрации частиц 1300-2600 мг/л при их удельном весе 2,6 г/см<sup>3</sup> [1]. Для определения скорости осаждения шарообразных взвешенных частиц используют следующие зависимости [2]:

при  $d < 0,1$  и  $Re < 2$

$$U_0 = \frac{gd^2(\rho_c - \rho_{ж})}{18\mu_{ж}}, \quad (1)$$

при  $2 \leq Re < 500$

$$U_0 = \frac{4}{3}gd \frac{\rho_c - \rho_{ж}}{C_{ш}}, \quad (2)$$

где  $U_0$  – наименьшая гидравлическая крупность частиц, которые необходимо задержать;  $Re$  – число Рейнольдса;  $g$  – ускорение свободного падения;  $d$  – диаметр шарообразной частицы;  $\rho_c$  и  $\rho_{ж}$  – соответственно плотности частицы и жидкости;  $\mu_{ж}$  – коэффициент динамической вязкости частицы и жидкости;  $C_{ш} = 18,5/Re^{0,6}$  – коэффициент сопротивления шарообразной частицы.

Эти зависимости применимы для агрегативно устойчивых частиц взвеси, которые в процессе осаждения не слипаются, не изменяют своей формы и размеров.



Анализ приведенных выше уравнений (1, 2) показывает, что увеличение скорости осаждения частиц можно достичь:

- уменьшением вязкости жидкости;
- укрупнением частиц оседающей взвеси;
- увеличением ускорения в поле сил.

Теоретическое время осаждения частиц в отстойнике определяется из выражения

$$t = \frac{H}{U_0}, \quad (3)$$

где  $H$  – высота зоны осветления отстойника;  $U_0$  – наименьшая гидравлическая крупность частиц, которые необходимо задержать.

Однако рядом исследователей доказано, что режим движения воды в горизонтальных отстойниках турбулентный, вследствие чего выпадение взвеси тормозится наличием вертикальных составляющих скоростей турбулентного потока [2,3].

Анализ уравнения (3) показывает, что сокращение времени пребывания осветляемых вод в отстойнике можно достичь уменьшением высоты зоны осветления отстойника. Такое уменьшение достигается секционированием потока осветляемой жидкости по высоте (многоярусное исполнение). При этом уменьшается объем и площадь отстойника. Кроме того, значительно снижается влияние вертикальной составляющей скорости потока.

Режим движения жидкости в отстойнике характеризуется числом Рейнольдса [4]:

$$R_e = \frac{v\omega}{\nu\chi}, \quad (4)$$

где  $v$  – средняя скорость движения жидкости в отстойнике;  $\omega$  – площадь живого сечения потока в отстойнике;  $\nu$  – кинематический коэффициент вязкости жидкости;  $\chi$  – смоченный периметр.

Исходя из основных теоретических закономерностей, можно определить скорость потока сточной воды в секциях тонкослойного отстойника:

$$Q = 3600 R_e \chi \nu / F, \quad (5)$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения секции,  $m^2$ .

При ламинарном режиме критическое число Рейнольдса для тонкослойных отстойников не должно превышать 500 [5, 6]. В обычных отстойниках значение этого числа достигает 1800-2300 [7].

Ламинарный режим движения жидкости в тонкослойных отстойниках достигается уменьшением числа Рейнольдса за счет увеличения смоченного периметра  $\chi$  (4). Кроме этого, в них резко ограничивается возможность возникновения и влияния на процесс осаждения взвеси конвекционных и плотностных токов, характерных для отстойников обычных конструкций [7].

Таким образом в тонкослойных отстойниках устранены или сведены к минимуму недостатки, присущие отстойникам обычных конструкций, что позволяет интенсифицировать процесс выделения взвешенных веществ и повысить эффект очистки жидкости.

Перспективным для повышения эффективности работы тонкослойных отстойников является использование вибрации для интенсификации процессов отстаивания и удаления осадка с полок, позволяя значительно снизить угол наклона пластин, и тем самым уменьшить влияние выпадения частиц и движения осадка на режим движения жидкости.

#### Библиографический список

1. Минц, Д.М. Теоретические основы технологии очистки воды. – М. : Изд-во литературы по строительству, 1964. – 156 с.
2. Очистка промышленных сточных вод / А.М. Когановский, Л.А. Кульский, Е.Ю. Сотников, В.Л. Шмарчук. – Киев : Техника, 1974. – 257 с.
3. Исследование полупромышленных установок по тонкослойному разделению иловых смесей / А.А. Бондарев, И.В. Скирдов, А.С. Шеломков, А.А. Бондарев // Труды ВНИИ ВОДГЕО. – 1974. – С.42-56.
4. Иванов, В.Г. Экспериментальные исследования пульсационных характеристик потока в многоярусных отстойниках // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1979. – № 2. –

С. 100-104.

5. Иванов, В.Г. Исследование работы многоярусных отстойников / В.Г. Иванов, В.А. Радциг // Очистка природных и сточных вод : тематический сб. науч. трудов. – Челябинск : ЧПИ, 1975. – № 171. – С.56-72.

6. Кобозев, Н.С. Применение тонкослойных модулей для интенсификации работы действующих очистных водопроводных станций // Повышение качества питьевой воды. – М. : МДНТП, 1977. – С.49-54.

7. Демура, М.В. Разделение суспензий в наклонном элементе / М.В. Демура, В.И. Чижов // Процессы и сооружения для разделения взвеси при очистке природных и сточных вод. – М. : МДНТП, 1980. – С. 43-48.

УДК 631.371:636

Янзина Е.В. к.п.н., доцент; Бармин Н.В. ст. преподаватель

## СОВРЕМЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

*Даны сравнительные характеристики современных источников света, обоснован их выбор для животноводческих помещений.*

*Comparative characteristics of modern light sources are given, their choice for cattle-breeding premises is proved.*

Среди многообразных условий содержания сельскохозяйственных животных большое значение имеет свет – один из важных факторов внешней среды. Интенсивность и продолжительность освещения, спектральный состав света, периодическая смена дня и ночи определяют ритмичность и интенсивность физиологических процессов в организме и оказывают существенное влияние на воспроизводство, рост и развитие животных.

Под влиянием повышенной освещенности и продолжительного освещения увеличивается двигательная активность у сельскохозяйственных животных почти всех видов. Это способствует их ускоренному росту и развитию. У всех видов животных, содержащихся в светлом помещении, исследователи отмечают формирование крепкой конституции с прочным костяком. Знание особенностей воздействия света на организм, здоровье и продуктивность животных, условий формирования светового режима в помещениях, средств оптимального освещения и методов его контроля, поможет широко использовать свет для повышения продуктивности и естественной устойчивости организма животных, к различным заболеваниям.

Основными источниками света в животноводческих помещениях до настоящего времени являются лампы накаливания (ЛН). К основным характеристикам относятся: световой коэффициент полезного действия (КПД до 7%), световая отдача (6,7... 19,1 лм/Вт) и срок службы – до 1000 ч [1].

В настоящее время данный вид источников света, используемых в сельскохозяйственном производстве, заменяется более совершенными приборами.

В качестве источников света получили распространение галогенные ЛН. Срок службы этих ламп вдвое больше чем у обычных ЛН (у отдельных типов – в 10 раз), спектр излучения их более близок к естественному, световая отдача на 18...20% больше. Но, несмотря на некоторые преимущества по сравнению с обычными ЛН, они также не перспективны для применения в животноводстве из-за достаточно низкого светового КПД.

Следующий класс источников оптического излучения — газоразрядные лампы. Они имеют более высокий КПД, цветность близкую к естественному свету, высокую световую отдачу – до 100 лм/Вт.

Большое распространение для освещения животноводческих ферм получили люминесцентные лампы (ЛЛ), в которых основной источник излучения – люминофор. В зависимости от давления, развиваемого в процессе работы внутри лампы, их делят на три типа.

Люминесцентные лампы низкого давления (ЛЛНД) – разряд происходит при давлении до 0,01 МПа; лампы высокого давления (ЛЛВД) – давление в рабочем режиме 0,01...1,0 МПа и лампы сверхвысокого давления (ЛЛСВД), внутри которых разряд происходит при давлении более 1МПа.

Лампы ЛЛНД выпускают мощностью от 10 до 200 Вт, их средний срок службы 12000 ч. Лампы высокого давления ЛЛВД имеют мощность от 80 до 2000 Вт, световую отдачу 40...55 лм/Вт и средний срок службы 10000 часов.

Для обеспечения рабочего режима этих типов ламп используют пускорегулирующую аппаратуру (ПРА) электромагнитного типа. В настоящее время стандартные люминесцентные лампы выпускают отечественные производители: ОАО «СВЕТ» (Смоленский электроламповый завод) ОАО «ЛИСМА» г. Саранск.

На сегодняшний день при современных достижениях современной светотехники перечисленные виды люминесцентных ламп считаются не перспективными в производстве, и основные производители источников света успешно осваивают производство нового поколения люминесцентных ламп (так называемых Т5) с электронными пускорегулирующими аппаратами (ЭПРА).

Люминесцентные лампы типа Т5 уже выпускаются некоторыми отечественными производителями. Это, например, ОАО ЛИСМА-ВНИИИС (Всероссийский научно-исследовательский проектно-конструкторский институт источников света им. А.Н.Лодыгина) [2].

В таблице 1 приведены технические характеристики ламп Т5 отечественного производства.

Таблица 1

Основные технические характеристики ламп Т5

Показатели	Тип ламп			
	ЛБЦТ-13В	ЛБЦТ-21В	ЛБЦТ-28В	ЛБЦТ-35В
Мощность, Вт	13	21	28	35
Ток лампы, А	0,07	0,11	0,13	0,17
Номинальный световой поток (при t=25°С), лм	1350	2100	2900	3650
Световая отдача, лм/Вт	103	100	104	104
Средняя продолжительность горения, ч	16000	16000	16000	16000
Стабильность светового потока после 10 тыс. ч, %	95	95	95	95
Частота выходного напряжения ЭПРА, кГц	40	40	40	40
Размеры, мм не более:				
диаметр $d$	16,5	16,5	16,5	16,5
длина $\ell$	563,4	863,4	1163,4	1463,4

Основные преимущества новых источников света:

- повышенная световая отдача (до 150 лм/Вт);
- пониженный спад светового потока (через 10 тыс.ч наработки световой поток снижается не более чем на 5% и остается далее на этом уровне;
- при работе с электронными ПРА потери мощности комплекта «ЛАМПА-ПРА» снижаются на 30...35%;
- резко сниженное содержание ртути в этих лампах (с 30 до 5 мг);
- увеличение среднего срока службы ламп до 16 тыс.ч;
- высокий индекс цветопередачи (80...90).

Следствием указанных преимуществ являются:

- снижение установленной мощности осветительных установок (ОУ) на 20...30% и уменьшение расхода электроэнергии;
- снижение расхода материалов на производство ЛЛ и светильников, которые могут иметь существенно меньшие габариты;
- исключение вредного действия из-за отсутствия пульсаций светового потока ламп;
- повышение эффективности световых приборов благодаря более высокому КПД;

- улучшение экологии новой техники (резкое снижение возможностей ртутного отравления).

Следующий этап развития светотехники, это появление многочисленных типов компактных люминесцентных ламп (КЛЛ). Данные лампы выпускаются мощностью от 5 до 35 Вт со световой отдачей от 30 до 60 лм/Вт и сроком службы от 5 до 10 тыс.ч. По этим показателям они значительно превосходят обычные лампы накаливания. Кроме того, некоторые КЛЛ имеют дополнительные возможности регулирования светового потока, что приводит к дополнительной экономии расхода электрической энергии до 50%.

Целый ряд КЛЛ имеют встроенный в цоколь электронный балласт (ЭПРА). Лампы имеют стандартный резьбовой цоколь E27 (или E14). Этими лампами могут заменяться обычные ЛН без всякой переделки осветительных установок.

Качественные КЛЛ выпускаемые ведущими зарубежными и отечественными производителями имеют стоимость от 135 до 270 руб. Эта стоимость, на наш взгляд, будет постепенно снижаться по мере отработки технологии их производства и усиления конкуренции производителей.

В настоящее время в продаже достаточно много компактных люминесцентных ламп китайских, польских, турецких и других производителей. Эти лампы имеют более низкую стоимость, так как в них использован дешевый люминофор, светоотдача которого уже после 1000 часов работы падает на 50%. Излучаемый такими лампами свет имеет очень низкий индекс цветопередачи. У этих осветительных приборов низкая надежность и долговечность электронного балласта, который, кроме того, создает электропомехи.

Таким образом, сопоставив характеристики современных источников света, можно сделать вывод, что замена ламп накаливания в животноводческих помещениях на лампы типа Т5 и КЛЛ экономически выгодна, несмотря на достаточно высокую их стоимость, так как они потребляют в 5...10 раз меньше электроэнергии, при одинаковой световой отдаче, и имеют в 10...16 раз больший срок службы.

#### Библиографический список

1. Воробьев, В.Н. Электрификация и автоматизация сельскохозяйственного производства : учебники и учебные пособия для студентов высш. учеб. заведений. – М. : Колос С, 2005. – 280 с. : ил.
2. Давиденко, Ю.Н. Настольная книга домашнего электрика: люминесцентные лампы. – СПб. : Наука и Техника, 2005. – 224 с. : ил. – (Серия «Домашний мастер» для широкого круга домашних мастеров).

УДК 631.621.3.

Бухвалов Г.С. к.т.н., профессор; Карпов П.М. к.т.н., доцент

## ВЛИЯНИЕ ПРЯМОТОЧНЫХ ФИЛЬТРОВ НА УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

*Рассмотрены вопросы повышения качества питьевой воды с помощью бытовых прямotoчных фильтров различного типа.*

*The paper presents the ways of increasing quality of drinking water with the help of various running filters.*

В течение нескольких последних лет на кафедре «Механизация и технология животноводства» ведутся исследования эффективности очистки питьевой воды различными типами фильтров, выпускаемых нашими производителями. На предыдущих этапах были опробованы три фильтра кувшинного типа: «Аквафор», «Гейзер» и «Барьер», а также прямotoчные фильтры «Аквафор-модерн» и «Гейзер-1УЖ». Полученные результаты [1,2] свидетельствуют о весьма высокой эффективности их работы по очистке воды от соединений азота, хлоридов, хлора, железа.

Хуже отфильтровывались сульфаты, а снизить жесткость до установленной нормы практически не удавалось.

Снижению жесткости воды необходимо уделять особое внимание, так как это не только нежелательная накипь в чайнике, на тенах тefалей и стиральных машин, но и, более важное, отложение солей в суставах и некоторых органах человека.

В потребляемой воде населением нашего поселка и г.Кинеля жесткость всегда находится значительно выше нормы и колеблется в пределах от 11,1 до 16,4 моль/м<sup>3</sup>. Результаты проведенных ранее исследований работы фильтров кувшинного и проточного типов показали, что их влияния на снижение жесткости практически нет. Исключением является единственный случай снижения жесткости до установленной нормы на новом фильтре «Гейзер-1 УЖ». После пропуска 1000 литров и этот фильтр не оказывал влияние на улучшение этого важного показателя качества воды.

В связи с изложенным, в данной работе была предпринята попытка подобрать проточный фильтр, который снизил бы жесткость исходной воды до санитарных норм.

В качестве объектов исследования применялись фильтры наиболее популярной среди населения марки «Аквафор». Одновременно вода из водопровода очищалась на фильтрах «Аквафор-модерн» и «Аквафор-дуэт». Оба фильтра были заправлены не универсальными, а специальными сменными модулями, предназначенными для очистки жесткой воды.

С целью исследования работы проточных фильтров на кафедре изготовлена лабораторная установка (рис.1). Она состоит из емкости (трубы) 1, к которой через краны 3 и счетчики 5 присоединены фильтры 6. Давление фиксировалось с помощью манометра 2. Через кран 4 отбирались образцы неочищенной водопроводной воды.

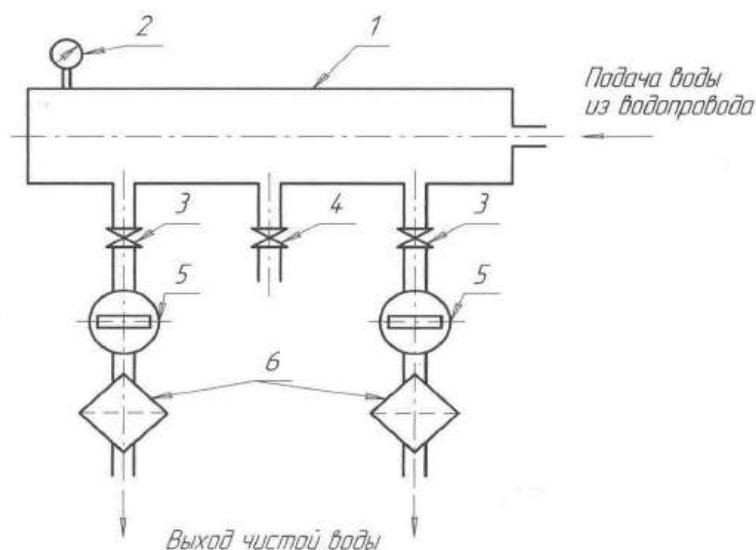


Рис. 1. Схема лабораторной установки:

- 1 – емкость (труба); 2 – манометр; 3 – кран для регулировки подачи; 4 – кран для отбора образцов воды;  
5 – счетчик; 6 – фильтр

Работает установка следующим образом. Вода из водопроводной сети через кран по шлангу подается в емкость 1. Емкость сделана достаточно большой, чтобы отбор воды на первый фильтр не оказывал влияния на величину отбора вторым фильтром. Количество пропускаемой воды через фильтры устанавливалось в соответствии с их техническими характеристиками при помощи кранов 3 и составляло 1,0...1,5 л/мин. Объем профильтрованной воды фиксировался счетчиками СХВ-15.

Все опыты проводились при постоянном давлении 80...100 кПа, которое фиксировалось манометром 2, а устанавливалось с помощью крана на водопроводной сети.

Качество работы фильтров оценивалось по результатам анализов проб исходной и очищенной воды, выполненных в испытательной лаборатории центра гигиены и эпидемиологии в г. Кинеле и Кинельском районе. Пробы отбирались из водопровода и из фильтров через каждую 1000 л воды, пропущенную через исследуемые фильтры.

Полученные результаты анализов представлены в таблице, здесь же указаны нормативные параметры качества питьевой воды по санитарным нормам и правилам.

Кроме представленных в таблице показателей исследовались также запах и цветность воды. В этом отношении следует отметить, что имевшиеся в исходной воде превышения указанных

параметров оба исследуемых фильтра доводили до установленных санитарных норм в течение всего периода испытаний.

Таблица 1

Показатели испытаний проб воды

№ про-бы	Место взятия пробы	Показатели							Заключение эксперта
		Азот аммиака, мг/л	Азот нитритов, мг/л	Азот нитратов, мг/л	Общая жесткость, моль/ м <sup>3</sup>	Хлориды, мг/л	Сульфаты, мг/л	Железо, мг/л	
0	СанПин 2.1.4.1074-01	2,0	0,3	45,0	7,0	350	500	0,3	-
1	Вода из крана 22.01.07	0,2	0,8	4,4	15,7	45	586	8,4	Не соответствует
2	Аквафор-модерн новый	0,2	0,6	4,0	3,4	41	392	0,05	Не соответствует
3	Аквафор-дуэт Новый	Не обнаруж.	0,6	4,0	0,3	42	356	0,05	Не соответствует
4	Вода из крана 25.01.07	0,15	0,1	8,8	11,4	41	384	10,8	Не соответствует
5	Аквафор-модерн через 1000л	0,15	1,0	8,8	9,2	41	211	0,05	Не соответствует
6	Аквафор-дуэт через 1000 л	0,1	1,0	8,8	8,6	40	204	Не обнаруж.	Не соответствует
7	Вода из крана 29.01.07	0,15	0,04	8,8	11,1	46	550	10,6	Не соответствует
8	Аквафор-модерн через 2000 л	0,15	1,6	8,4	9,2	46	500	0,05	Не соответствует
9	Аквафор –дуэт через 2000 л	0,15	0,06	8,4	9,7	42	500	Не обнаруж.	Не соответствует
10	Вода из крана 31.01.07	0,15	2,1	17,6	12,5	58	318	1,4	Не соответствует
11	Аквафор-модерн через 3000 л	0,1	0,8	14,6	11,4	57	284	Не обнаруж.	Не соответствует
12	Аквафор-дуэт через 3000л	0,1	0,9	10,9	11,5	57	282	Не обнаруж.	Не соответствует
13	Вода из крана 2.02.07	0,15	0,04	4,4	13,6	44	342	1,2	Не соответствует
14	Аквафор-модерн через 4000 л	0,1	0,04	4,4	10,9	43	286	0,05	Не соответствует
15	Аквафор-дуэт через 4000 л	0,1	0,04	4,4	10,8	43	284	0,05	Не соответствует

Анализ табличных данных показывает, что вода в системе водоснабжения п. Усть-Кинельский не отвечает санитарным требованиям по содержанию в ней азота нитритов, сульфатов, железа и является очень жесткой. В результате работы фильтров содержание сульфатов приводилось в норму, содержание железа сводилось практически к нулю, а удалить из воды азот нитритов и снизить жесткость воды до необходимых значений не удалось, хотя новые фильтры показали весьма обнадеживающие результаты. Однако уже через 1000 л фильтруемой воды эффективность работы обоих фильтров оказалась весьма низкой.

Таким образом, проведенные исследования не дают оснований считать указанные фильтры эффективными в отношении, в первую очередь, жесткости воды, а также содержания в ней азота нитритов.

#### Библиографический список

1. Карпов, П.М. Исследование эффективности некоторых бытовых фильтров для воды / Карпов П.М., Бухвалов Г.С. // Актуальные проблемы сельскохозяйственной науки и образования : сб. науч. трудов II Международной научно-практической конференции. – Самара, 2005. – Вып. III. – С.268-270.
2. Бухвалов, Г.С. Исследование прямоточных бытовых фильтров водопроводной воды / Бухвалов Г.С., Карпов П.М. // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – Самара, 2006. – Вып. III. – С. 214-216.

УДК 631.862.2.:631.333.92.

Кудряшов Р.И. аспирант

## КЛАССИФИКАЦИЯ ФЛОТАЦИОННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Сохранение водных запасов страны остаётся одной из самых актуальных экологических проблем. Целью дальнейшей работы является усовершенствование очистки сточных вод.*

*Preservation of water stocks of the country remains one of the most actual environmental problems. The purpose of the further work is improvement of sewage treatment.*

Эксплуатация крупных сельскохозяйственных комплексов выдвинула на первый план проблему удаления, переработки и рационального использования отходов. Таким образом, переработка отходов агропромышленного комплекса и осадков коммунальных сточных вод имеет большое экономическое значение для развития производства сельскохозяйственной продукции.

В современных технологических линиях по переработки и утилизации стоков, поступающих с крупных животноводческих комплексов, важное значение имеет операция по очистке отделенной жидкой фракции стоков, которая представляет собой дисперсную среду из воды и взвешенных твердых частиц. Жидкая фракция стоков составляет до 90% от общей исходной массы и в таком виде не может быть использована в качестве ценного органического удобрения и внесения в почву. Кроме того, в необработанном виде жидкая фракция представляет серьезную угрозу для почвы, воды, воздушного бассейна и, в конечном счете, для человека.

Для очистки сточных вод от легких грубодисперсных частиц и прочих примесей в основном органического происхождения используется флотация. Процесс флотации можно рассматривать как молекулярное прилипание нерастворённых примесей к пузырькам тонкодиспергированного в жидкости газа и всплытие (флотация) образующихся таким образом систем на поверхность обрабатываемой жидкости. При этом скорость всплытия частиц, загрязняющих жидкость, резко увеличивается, возрастает эффект и глубина разделения и очистки.

При прилипании твёрдых взвешенных частиц к пузырькам газа уменьшается поверхностная энергия пограничных слоев, и возникают силы, стремящиеся уменьшить площадь соприкосновения жидкости с частицей.

Молекулярное прилипание обусловлено смачиванием, зависящим от поверхностных явлений, возникающих на границе фаз. Смачивание характеризуется косинусом краевого угла, который образуется поверхностями трёх соприкасающихся фаз (частица – жидкость – пузырьёк газа) при достижении равновесия смачивания и зависит от молекулярных свойств фаз.

Таким образом, вышеизложенные свойства процесса флотации можно с успехом использовать при разделении и очистке стоков.

Флотационные установки (флотаторы) используют вместо отстойников или осветлителей со взвешенным осадком, они могут также заменить микрофилтры. Применение флотации позволяет увеличить удельную производительность с площади зеркала воды по сравнению с отстойниками и осветлителями в 2... 5 раз, повысить эффект осветления воды.

Эффективность процесса зависит от свойств воды и примесей, крупности пузырьков воздуха и равномерности их распределения по площади флотационной камеры. Оптимальный размер пузырьков 20...80 мкм. Чем меньше поверхностное натяжение жидкости, тем лучше растворится там воздух и тем мельче образующиеся пузырьки. Для хорошего адсорбирования к пузырькам примеси должны быть гидрофобными, их оптимальный размер 0,1...1 мм. Для снижения поверхностного натяжения воды, гидрофобизации примесей и увеличения их размера воду перед флотационной камерой коагулируют. Флотационные установки должны включать смесители и камеры хлопьеобразования.

По способу образования пузырьков воздуха различают механическую и пневматическую флотацию. В первом случае диспергирование пузырьков в воду производится специальными турбинами. При очистке поверхностных вод более распространена пневматическая флотация, которая основывается на уменьшении растворимости газа в воде при снижении его парциального давления.

При резком снижении давления происходит выделение из воды излишнего количества воздуха в виде пузырьков. Если вода из-под нормального давления направляется в камеру под вакуумом, такая флотация называется вакуумной; если из-под напора в открытую камеру — напорной. Напорная флотация наиболее широко используется в водоподготовке. На практике, прежде всего при очистке сточных вод, применяется также электрофлотация, где пузырьки газа образуются в процессе электролиза.

Анализ научно-технической и патентной литературы позволяет классифицировать применяемые конструкции флотационных установок по основным признакам (рис. 1).

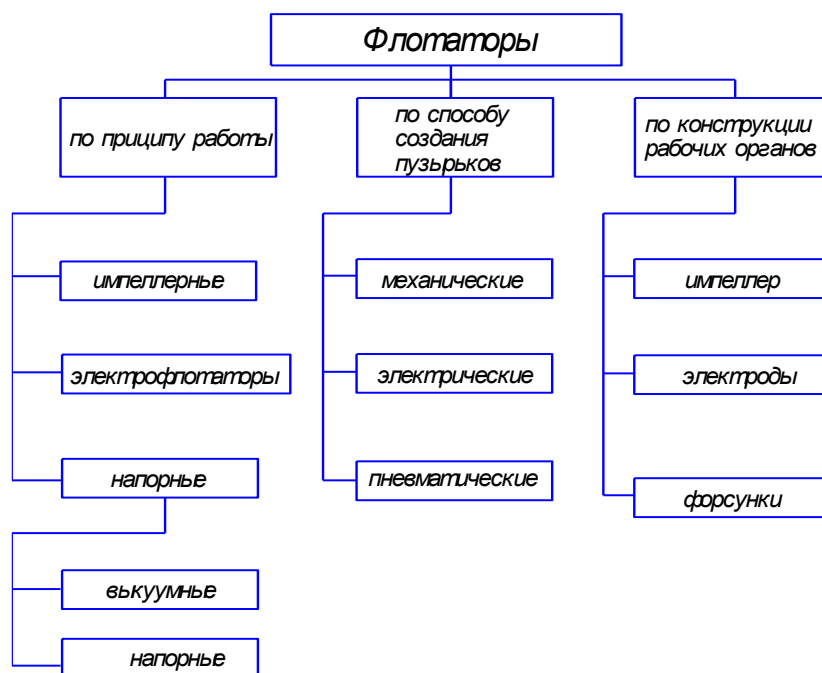


Рис. 1. Классификация флотационных установок



Как видно из приведенной классификации, в первую очередь флотомашины подразделяются по принципу работы: импеллерные, где основной рабочий орган, которым создаётся пузырьковая среда, представляет собой механическую турбинку; электрофлотаторы и напорные, которые в свою очередь делятся на вакуумные и напорные.

По способу создания пузырьков флотаторы можно подразделить на механические, электрические и пневматические.

И, наконец, по конструкции рабочих органов все флотоустановки можно разделить на три большие группы: импеллерные (импеллер или турбинка), электроды (растворимые и нерастворимые) и устройства для подачи воздуха или создания вакуума.

Классификационные исследования позволили определить, что наиболее перспективными для дальнейшего совершенствования конструкции и улучшения качественных параметров является флотомашины работающие по импеллерному принципу, так как они обладают несомненными преимуществами по сравнению со своими аналогами: простота конструкции, эксплуатационная надежность, высокая производительность и достаточное качество выходной продукции.

Флотомашинa состоит из основных сборочных единиц: кармана загрузочного, секции головной, секции промежуточной, секции с карманом, привода пеногона, электрооборудования приводов импеллера, шибера, пеногона.

Процесс обогащения (очистки воды) происходит следующим образом: исходная пульпа (сточная вода) самотеком поступает в загрузочный карман, откуда через питающую трубу всасывается импеллером и выбрасывается в головную камеру машины. Начиная со второй камеры, пульпа (вода) циркулирует через импеллер, насыщаясь воздухом.

При движении вдоль машины из пульпы (из сточной воды) в каждой камере извлекается с пеной полезный минерал (или загрязнения), который пеногонами сбрасывается в желоб. Достигнув последней камеры, пульпа (вода) переливается через сливной порог разгрузочного кармана. Осевшие пески разгружаются через песковое отверстие.

Анализ известных конструктивных решений флотационных установок для обработки сточных вод на сельскохозяйственных предприятиях позволяет определить основную схему импеллерной флотомашины, которая в результате усовершенствования конструкции и оптимизации технологических параметров может быть с успехом использоваться на очистных сооружениях агропромышленного комплекса.

#### Библиографический список

1. Очистка сточных вод. / Хенце М. [и др.] ; пер. с англ. – М. : Мир, 2004. – 480 с.
2. Паль, Л.Л. Справочник по очистке природных и сточных вод / Паль Л.Л. [и др.]. – М. : Высшая школа, 1994. – 360 с.
3. Когановский, А.М. Очистка промышленных сточных вод / Когановский А.М. [и др.] // Техника. – 1974. – 178 с.

## ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ СТЕН ПРОМЫШЛЕННЫХ СИЛОСНЫХ ЁМКОСТЕЙ ПРИ ЗАГРУЖЕНИИ

*Приведены результаты экспериментальных исследований температурного режима стен железобетонных силосов кругового очертания, при их использовании в качестве аккумулирующих ёмкостей и загружаемых пылевидным сыпучим материалом с температурой до 120°C. Определены факторы, влияющие на изменение средней температуры стены, а также перепада температуры по сечению. Даны предложения по учету температурного воздействия в условиях одностороннего нагрева при расчете вертикальных сечений железобетонных стен и принцип армирования.*

*The article performs research trials results of cylinder shaped ferroconcrete silos temperature regime while using them as collectors loaded by dusty free-flowing matter at the temperature of 120°C. The factors influencing wall average temperature change and wall section temperature drops have been determined. The offers to take temperature influence into account under the circumstances of one-side heating have been given ferro-concrete walls vertical section culculation and reinforcing principle being made.*

Проблема надежности и долговечности монолитных железобетонных силосов кругового очертания, используемых для хранения сыпучих материалов, не перестает быть актуальной в связи с известными случаями повреждения стен в процессе эксплуатации, их износом, реконструкцией, проектированием и строительством новых типов сооружений. Несмотря на разработку новых конструктивных требований, касающихся в основном назначения минимальной прочности бетона, принципа армирования, геометрических размеров, условий возведения и работы стен, а также совершенствования нормативной литературы, эксплуатационная надежность рассматриваемых конструктивных решений остается низкой. Строительство силосных сооружений в индустриально развитых странах постоянно сопровождалось экспериментальными исследованиями, направленными на изучение и уточнение давления сыпучего материала. Вопросам воздействия температуры окружающей среды не было уделено должного внимания, что связано с использованием железобетонных ёмкостей в регионах с умеренным климатом.

В промышленных железобетонных силосах, используемых в качестве аккумулирующих ёмкостей для минеральных солей или загружаемых горячими сыпучими материалами, можно наблюдать три основных вида температурных воздействий, связанных, во-первых, с изменением средней по сечению стены температуры, во-вторых, наличием перепада температур по сечению при загрузке материалами с более высокой начальной температурой и, наконец, косвенным проявлением влияния температуры среды, вызванным изменением основных расчетных характеристик материала по толщине стены. Ниже будут рассмотрены только температурные воздействия от перепада температуры по сечению стен.

Методика расчета железобетонных стен, предлагаемая рядом авторов по данным отечественной периодической и специальной технической литературы, а также зарубежных источников, практически не отличается. Дополнительная горизонтальная арматура вертикальных сечений, воспринимающая температурный момент, подбирается как для сечений с трещиной и устанавливается по всей высоте рабочей части силоса. В верхней зоне стен, равной  $1/3H$ , рекомендовано устанавливать только половину расчетной площади требуемого сечения арматуры. Минимальный процент армирования не оговаривается. Однако при идентичных подходах к расчету с учетом соизмеримых геометрических размеров ёмкостей и температуры загружаемого материала, вводимые начальные параметры, к которым, прежде всего, относится расчетное значение величины перепада температуры по толщине стены, не совпадают. Очевидно, что искомые перепады температур получены исходя из принятых допущений и представлений о физике явления. В условиях реальной эксплуатации распределение температурных полей и градиентов носит значительно более сложный характер. В ряде работ описаны случаи, когда объем цемента при

загрузке и выгрузке ограничен образующейся в массиве материала внутренней воронки. При этом объем воронки играет роль изоляции стен.

Железобетонные силосы, используемые в качестве складов для хранения различных сыпучих материалов, строятся и широко эксплуатируются в течение более семи десятков лет. От зерновых силосных сооружений (элеваторов) они отличаются габаритами и соотношением геометрических размеров (диаметр ёмкости, высота рабочей части, толщина стенки). В основном силосные склады состоят из отдельно стоящих монолитных железобетонных силосов кругового очертания, диаметром от семи до тринадцати метров при соотношении высоты рабочей части к диаметру  $H/D = 1,4 \dots 2,5$ . Толщина стен назначается конструктивно исходя из условий производства работ. При диаметре двенадцать метров для сыпучих материалов с насыпной плотностью до  $1,0 \text{ т/м}^3$  толщина принимается равной 200 мм, при более высокой насыпной плотности – 240 мм. Уточнение вводимых в расчеты нагрузок потребовало выполнения исследовательских работ экспериментально-теоретического характера, выходящих за рамки лабораторных исследований, и направленных, прежде всего, на изучение фактической работы силосных корпусов в эксплуатационных режимах, уточнение технического состояния стен, классификацию повреждений и разрушения фрагментов стен.

В качестве экспериментальной базы использован силосный корпус, служащий в качестве аккумулирующего склада обезвоженного карналлита. В состав корпуса вошли четыре силоса диаметром восемь метров и высотой рабочей части 12,6 м,  $H/D = 1,7$ . Конфигурация каждой из ёмкостей приведена на рисунке 1. Ёмкость каждого из силосов составляет  $680 \text{ м}^3$ . Фактическая толщина монолитных железобетонных стен – 170 мм. Прочность бетона стен при сжатии –  $R_u = 17 \text{ МПа}$ . Карналлит имеет объемно-насыпную массу  $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ , угол естественного откоса  $\varphi = 35^\circ$ , отношение горизонтального давления к вертикальному  $k = 0,271$ . По технологическому циклу подача (загрузка) сыпучего материала в силосы производится при температуре до  $120^\circ\text{C}$ .

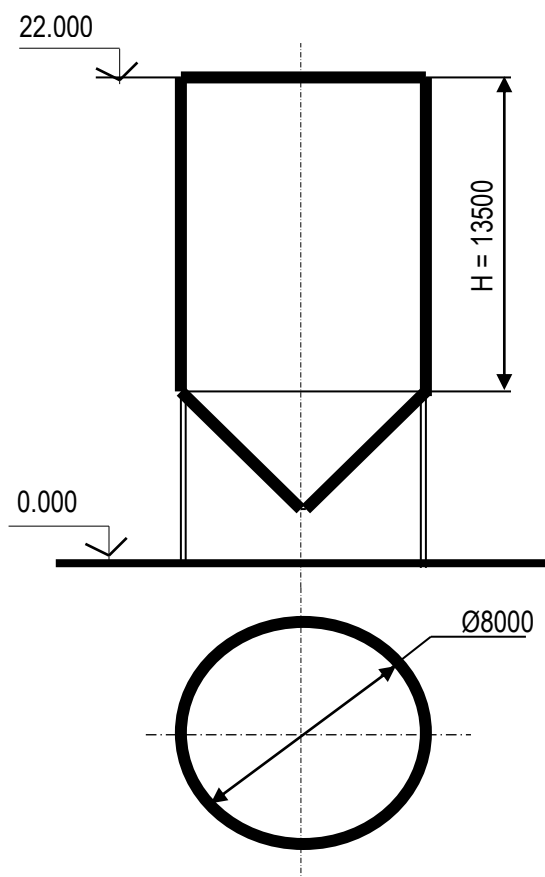


Рис.1. Схема монолитного железобетонного силоса ёмкостью  $680 \text{ м}^3$

Поставленные задачи по изучению температурных воздействий от загружаемого сыпучего материала как одной из основных действующих нагрузок, вызывающих дополнительные усилия в стенах силосов и соизмеримых с усилиями от давления сыпучего материала, предопределили состав и тип контролируемых при испытаниях параметров. К ним отнесены: значения температуры сыпучего материала; воздуха внутри силоса над сыпучим материалом; наружного воздуха вне силоса; средней температуры стены; перепада температуры по толщине стены. Первичные температурные преобразователи (датчики) были установлены в одном уровне на отметке, равной  $1/3H$ , исходя из того, что максимальное давление на стену от сыпучего материала по данным многочисленных исследований находится примерно на указанном расстоянии от выпускного отверстия или днища. В процессе испытаний проводился контроль горизонтального давления от сыпучего материала на стены. Десять датчиков давления были установлены на указанном уровне равномерно по периметру. Температурные преобразователи в стенах силосов располагались в зонах установки датчиков давления. Это позволяло при обработке результатов замеров давления сыпучего материала включать температурную поправку.

Температурные преобразователи изготовлены на базе термосопротивлений типа ММТ-4 с собственным сопротивлением  $R_{20} = 4$  кОм. Для гидроизоляции применена эпоксидная смола, наносимая на преобразователь и контакты. В качестве регистрирующей аппаратуры использован мост постоянного тока Р333. Коммутация производилась с использованием провода марки МГШВ ЭВ сечением  $0,35$  мм<sup>2</sup>. Преобразователи проходили индивидуальную калибровку в ультратермостате УТ2 в диапазоне температур от минус шестидесяти, до плюс девяноста пяти градусов Цельсия с интервалом в двадцать градусов. По результатам калибровки строились графики "температура – сопротивление" в логарифмических координатах, что позволяло производить оперативную обработку результатов измерений непосредственно в процессе проведения испытаний.

В каждом секторе стены ("точке") были установлены по два преобразователя температуры – с наружной и внутренней стороны на расстоянии двадцати пяти миллиметров от поверхности. В этих же "точках" производился замер толщины стены. Для измерения температуры воздуха в силосе над сыпучим материалом было установлено два преобразователя. Один – под надсилосной плитой на удалении до одного метра, другой, "плавающий" при испытаниях находился на расстоянии один метр выше сыпучего материала. Температура сыпучего материала контролировалась при выходе из шнекового транспортера в зоне загрузочных отверстий и в поверхностных слоях загружаемого в силос материала. Температура наружного воздуха измерялась двумя преобразователями, расположенными диаметрально по отношению к силосу в специальных коробах с жалюзи, защищающими датчики от дождя и ветра.

Основные контролируемые значения температуры железобетонных стен одного из силосов склада обезвоженного карналлита в течение проводимых испытаний были зафиксированы в нормальном эксплуатационном режиме. Суммарная продолжительность испытаний составила один год. Наблюдения проводились в зимний, летний и осенний периоды. Регистрация показаний приборов была осуществлена в процессе загрузки ёмкости без технологических перерывов с интервалом между замерами в два часа.

Поступление в силос сыпучего материала практически мгновенно повышает температуру воздуха внутри ёмкости ( $t_b$ ). В зависимости от интенсивности подачи материала наблюдается повышение температуры со скоростью до  $20^{\circ}\text{C}$  в час. В среднем при загрузке подъём температуры находился в пределах  $12 \dots 16^{\circ}\text{C}$  в час. Не отмечено влияния уровня сыпучего материала на температуру  $t_b$ .

Более значительное влияние на значение температуры  $t_b$  оказывает температура наружного воздуха  $t_n$  (среднее значение температуры по двум преобразователям вне силоса) (рис. 2). В зимний период года максимальные значения температуры  $t_b$  в среднем на 30% ниже аналогичных температур, зафиксированных в летние месяцы. Зимой также происходит более резкое снижение температуры после прекращения подачи материала. Скорость падения температуры  $t_b$  в силосе составляет  $14 \dots 16^{\circ}\text{C}$  в час, а средняя температура  $t_b$  при загрузке на  $20^{\circ}\text{C}$  ниже. Во время подачи сыпучего материала температура  $t_b$  непосредственно у поверхности карналлита на

расстоянии по высоте до одного метра на 2 ... 3°C выше, чем в верхней части объёма у надсилосного перекрытия.

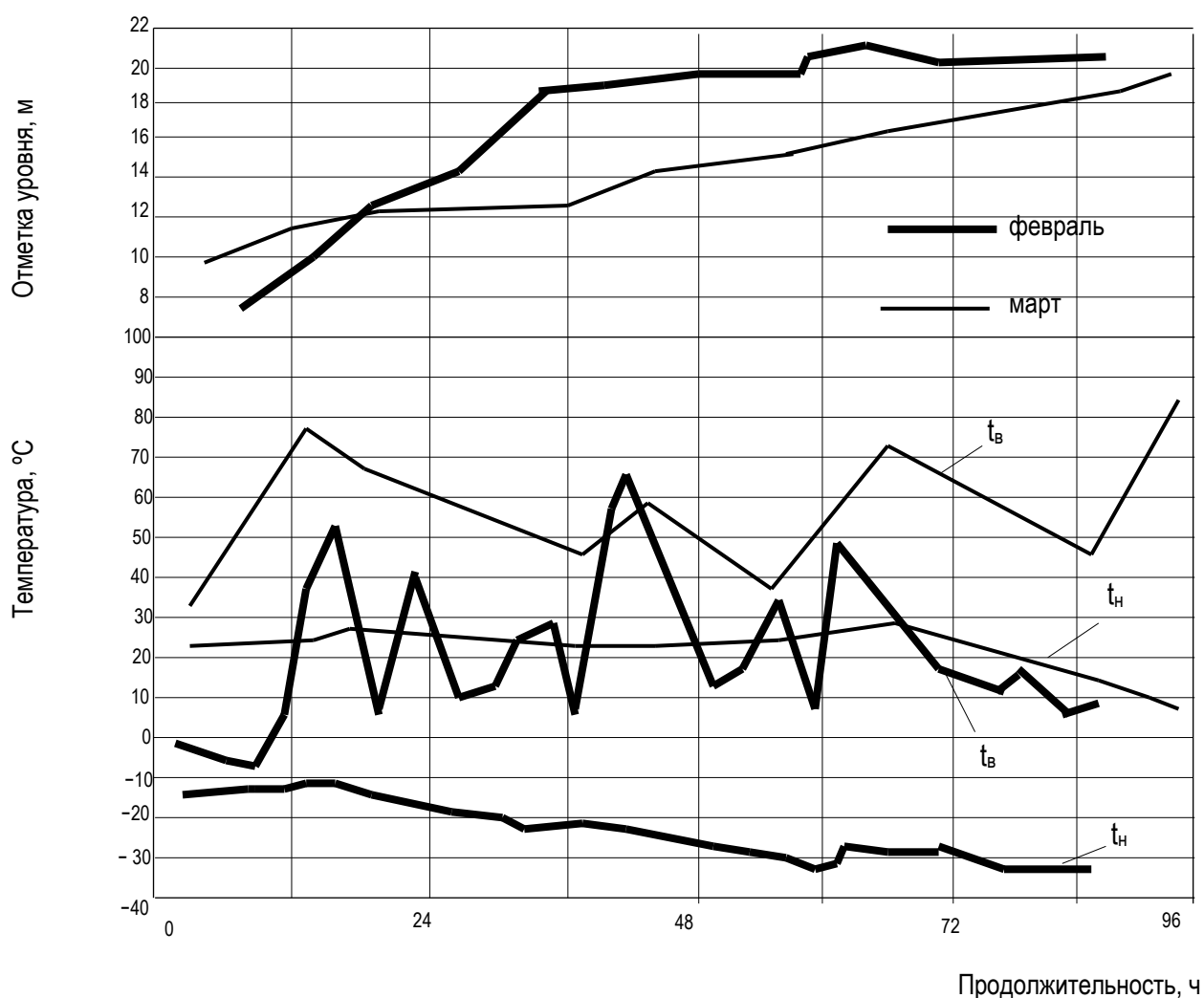


Рис. 2. Изменение температуры воздуха в силосе при загрузении

Нагрев стен начинается сразу после подачи карналлита в ёмкость. Периодическое (кратковременное) загрузение только стальной выпускной воронки вызывает подъём температуры в силосе и соответственно температуры стен. Так, наблюдаемый подъём температуры на 27°C приводит к увеличению средней по сечению температуры стены  $t_c$  на 4°C и перепаду температур между наружной и внутренней поверхностями равному  $\Delta T_c = 8^\circ\text{C}$ .

В летние месяцы при температуре наружного воздуха  $t_H = 20...26^\circ\text{C}$  средняя по сечению температура стены  $t_c$  поднимается до 41°C. При этом перепад температуры по сечению стены постоянно увеличивается в процессе загрузения и имеет максимальное значение до момента "касания" с сыпучим материалом ( $\Delta T_c = 18^\circ\text{C}$ ). После контакта температура стены и отмеченный перепад температуры плавно снижается. Причём, уменьшение численного значения величины  $\Delta T_c$  от 18 до 0°C наблюдается в течение двадцати пяти часов.

В осенний период года при температуре наружного воздуха  $t_H = -1 ... -5^\circ\text{C}$  нагрев стены зафиксирован до температуры  $t_c = 12^\circ\text{C}$  и перепад  $\Delta T_c = 16^\circ\text{C}$ . Снижение отмеченного перепада от своего максимального значения в этом цикле испытаний до нулевого значения в зоне контакта с карналлитом происходит в течение двадцати шести часов.

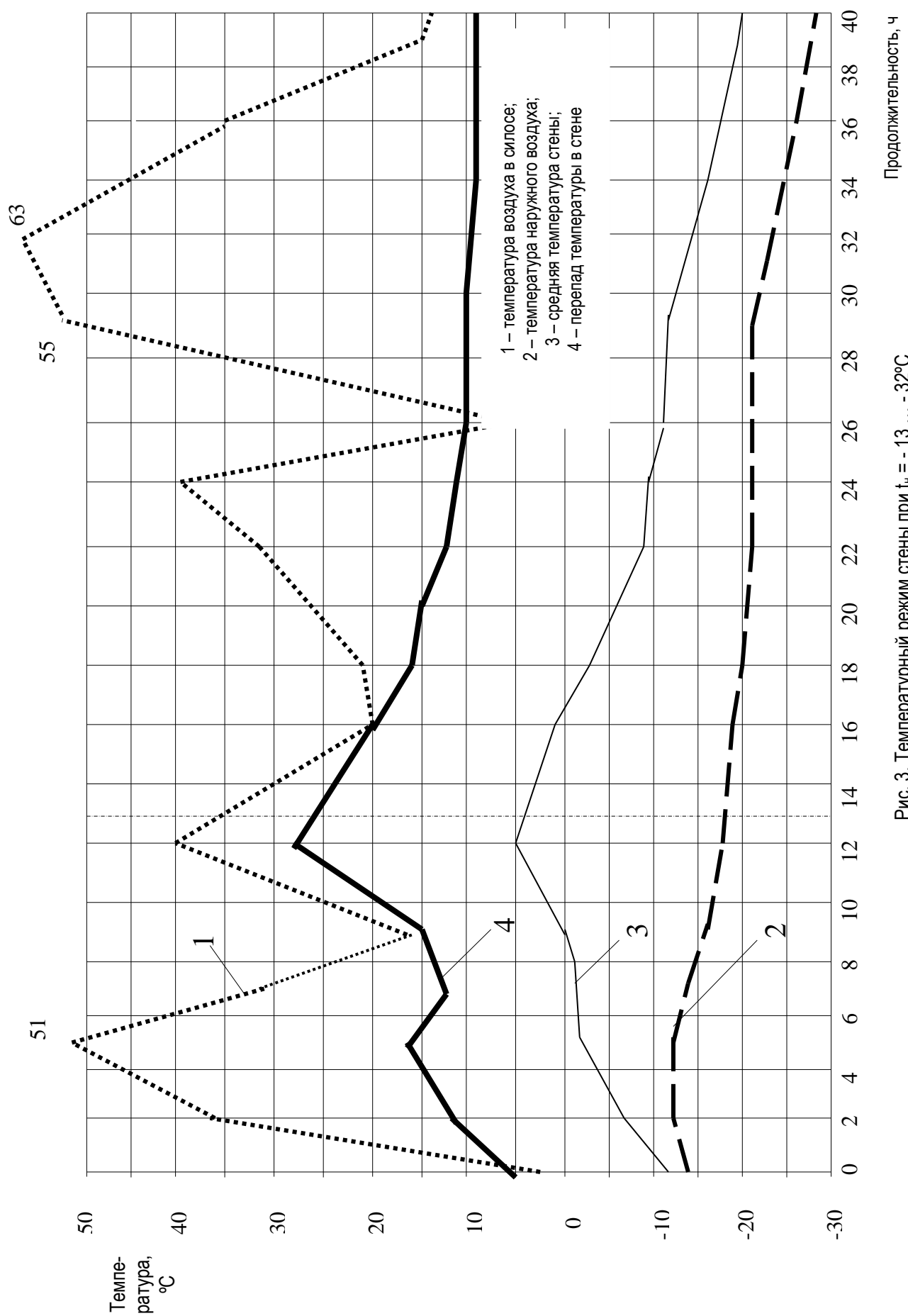


Рис. 3. Температурный режим стены при  $t_{\text{н}} = -13 \dots -32^\circ\text{C}$

Наибольшее значение подъёма параметров  $t_c$  и  $\Delta T_c$  имеет место в зимнее время года (рис. 3). На отметке 12,0 м, что соответствует уровню 1/3Н, зафиксировано увеличение средней температуры стены на 15°C и наличие перепада по сечению, равного  $\Delta T_c = 27^\circ\text{C}$ , при температуре наружного воздуха  $t_n = -18^\circ\text{C}$ . Разность значений средней температуры стены оставляет  $\Delta t_c = 23^\circ\text{C}$ , а температура внутренней поверхности стены поднимается до 15°C. Контакт с сыпучим материалом отмечен через четырнадцать часов наблюдения.

В целом, загрузка ёмкости объемом 680 м³ в эксплуатационном режиме приводит к повышению температуры воздуха внутри силоса на 20°C в час, что сопровождается увеличением перепада температуры по сечению стены на 0,25 ... 0,30°C. При понижении температуры наружного воздуха средняя температура стены  $t_c$  снижается почти пропорционально этому процессу. Более резкое изменение температуры, например изменение температуры наружного воздуха на 10°C в течение 10 часов в заполненном силосе, приводит к изменению средней температуры стены только на 4°C. Перепад температуры по сечению стены  $\Delta T_c$  практически отсутствует.

Таким образом, при загрузке ёмкостей пылевидным сыпучим материалом с температурой до 120°C расчетные значения перепада температуры по сечению стены должны определяться при теплотехнических расчётах для зон над сыпучим материалом в пределах 1/3Н в зимнее время года. Расчет прочности вертикальных сечений стены необходимо производить на температурный момент, вызванный перепадом температур при одностороннем нагреве. Площадь сечения горизонтальной арматуры определяется расчетом и должна быть не менее площади сечения арматуры, подобранной для восприятия усилий от действия горизонтального давления сыпучего материала. Средняя часть требует выполнения расчета вертикальных сечений на восприятие горизонтального давления согласно действующим нормам проектирования и дополнительного изгибающего момента, вызванного перепадом температуры, определенного для зон, имеющих контакт с сыпучим материалом. Расчет производится на внецентренное растяжение. Дополнительного армирования стены в её нижней части для восприятия температурного воздействия не требуется.

## Содержание

# СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА

## ИЗМЕНЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВЫ

<i>Милюткин В.А., Канаев М.А.</i> Анализ способов реализации точного (координатного) земледелия.....	3
<i>Меньшов М.В.</i> Об особенностях осаждения аэрозольного образования в условиях орографически неоднородной местности.....	5
<i>Нугманов С.С., Васильев С.И.</i> Многоканальное устройство для горизонтального послойного непрерывного измерения твердости почвы и результаты его полевых испытаний.....	8
<i>Нугманов С.С., Иваськевич А.В.</i> Методика и результаты лабораторных исследований по измерению влажности почвы электрическим методом.....	11
<i>Апаликов А.И., Апаликов К.А.</i> Результаты влагонакопления на опытном поле, обработанном комбинированным орудием.....	13
<i>Долгоруков Н.В.</i> Вариационное описание процессов тепломассобмена для гетерогенной системы в приближении сплошной среды.....	17
<i>Савельев Ю.А., Ишкин П.А.</i> Методика определения величины разуплотнения почвы промораживанием в зависимости от ее влажности и плотности .....	19

## ПОСЕВ И УБОРКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

<i>Крючин Н.П., Морев Е.А.</i> Выбор рациональной схемы дозирования семян высевальным аппаратом.....	21
<i>Крючин Н.П., Гусаров В.А.</i> Исследование взаимодействия упругих игл формирователя потока с радиальным упором.....	24
<i>Петров А.М., Сыркин В.А.</i> Анализ зарубежных сеялок для рядового посева и тенденции их развития.....	26
<i>Вдовкин С.В.</i> Статистический анализ процесса рассеивания семян.....	29
<i>Васильев С.А.</i> Обоснование основных конструктивно-технологических параметров высевального аппарата.....	31
<i>Крючин Н.П., Котов Д.Н., Сафонов С.В.</i> Анализ процесса транспортирования трудносыпучих семян штифтами дисково-штифтового высевального аппарата.....	33
<i>Крючин Н.П., Сафонов С.В., Крючин П.В.</i> Результаты экспериментальных исследований дисково-штифтового высевального аппарата.....	36
<i>Петин А.В.</i> Теоретические исследования процесса дозирования семян высевальным аппаратом с эластичным диском.....	38
<i>Петров А.М., Петин А.В.</i> Результаты полевых испытаний экспериментального высевального аппарата с эластичным диском на базе сеялки ССНП-16.....	40
<i>Краснов С.В.</i> Экономическая эффективность использования высевального аппарата гравитационного действия с эластичным диском.....	42
<i>Родимцев С.А. (Орловский ГАУ).</i> Концепции создания новых уборочных машин для целей селекции и первичного семеноводства.....	45

## ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ И УПЛОТНЕНИЯ ПОЧВЫ

<i>Петров А.М., Савельева Р.Ю.</i> Анализ исследований по изучению механизма уплотнения почвы ходовыми системами тракторов.....	50
<i>Савельев Ю.А., Фатхутдинов М.Р.</i> Определение параметров траектории движения частицы почвы после схода с клина.....	52



Савельев Ю.А., Фатхутдинов М.Р. Оценка энергетической эффективности процесса разуплотнения почвы.....	56
Мусин Р.М., Мингалимов Р.Р. Результаты лабораторно-полевых испытаний культиваторного агрегата с активным приводом опорных колес.....	59
Мусин Р.М., Гашенко А.А. Способы повышения устойчивости движения культиваторного агрегата в горизонтальной плоскости.....	62
Мусин Р.М., Гашенко А.А. Определение активной поверхности дискового стабилизатора движения культиватора.....	68
Парфенов О.М. Орудие для безотвальной обработки почвы с комбинированными рабочими органами.....	72
Крючин Н.П., Кукуев С.А. Теоретический анализ процесса формирования дерностерневого валка дисковыми батареями комбинированного орудия .....	74
Савельев Ю.А., Алмасова Г.З. Методика оценки устойчивости курсового направления сельскохозяйственных агрегатов.....	76

## ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

Гниломедов В.Г., Афонин А.Е., Сазонов Д.С. Влияние ландшафта полей на выбор способа движения машинно-тракторного агрегата.....	78
Сазонов Д.С. Влияние внешних факторов на эксплуатационные показатели работы машинно-тракторного агрегата при различных способах движения.....	80
Гниломедов В.Г., Афонин А.Е., Ерзамаев М.П. Теоретический анализ технологического процесса двухъярусной отвальной вспашки.....	83
Гниломедов В.Г., Ирнazarов И.Н. Анализ путей повышения тягово-сцепных свойств колесных тракторов с шарнирной рамой.....	85
Гамаюнов П.П., Алексеев С.А., Ерохин А.Ю., Рицман С.В. (Саратовский ГАУ). Определение упругих и демпфирующих свойств тягово-сцепного устройства.....	88
Гамаюнов П.П., Алексеев С.А., Ерохин А.Ю., Рицман С.В. (Саратовский ГАУ). Оптимальный эксплуатационный режим движения тракторно-транспортного поезда на повороте.....	91

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Ленивцев Г.А., Володько О.С. Трибологические аспекты повышения технического уровня трансмиссий сельскохозяйственных тракторов.....	98
Володько О.С., Приказчиков М.С., Галенко И.Ю. Методы повышения фактической площади контакта поверхностей трения.....	104
Болдашев Г.И., Володько О.С., Быченин А.П. Влияние рапсового масла в смесевом топливе на режим смазывания прецизионных пар дизельной топливной аппаратуры.....	110
Жильцов С.Н. Улучшение рабочих поверхностей трения в процессе приработки, путём воздействия поверхностно активных веществ.....	114
Болдашев Г.И., Едуков Д.А. Результаты экспериментальных исследований смесового смазочного материала на основе рапсового масла для агрегатов тракторных трансмиссий.....	116
Едуков Д.А. Влияние коэрцитивной силы постоянного магнитного поля на краевой угол смачивания поверхности.....	118
Мясников Б.Н., Митрофанов А.С. Влияние кондиционера металла “Форсан” на эксплуатационные свойства масла.....	121
Цыпцын В.И., Щербаков Д.А., Удодов С.Н. (Саратовский ГАУ) Механизм действия магнитных металлоплакирующих смазок в трибосопряжениях.....	123
Цыпцын В.И., Бадышев Д.П. (Саратовский ГАУ) Исследование механизма взаимодействия молибдена и его соединений с металлами пар трения.....	126

Удодов С.Н., Луцев Н.С. (Саратовский ГАУ) Анализ методов восстановления свойств смазочных масел.....	128
Плаксин В.Ф., Савинов Г.П., Савинова С.Г. Триботехнические показатели углеводородных топлив в смеси с минеральными и растительными маслами.....	131
Цыпцын В.Н., Легошин Г.М., Нагманов К.Г. (Саратовский ГАУ) Биразделенная система топливоподачи.....	133
Переверзов В.Д., Кирсанов Р.Г., Переверзов В.В. О выборе конструкции первичного преобразователя калориметрического расходомера топлива.....	135
Музыкантов И.П. (Усольский сельскохозяйственный колледж, Самара) Повышение долговечности и обеспечение работоспособности герметизирующих устройств тракторных механических трансмиссий.....	138
Бажутов Д.Н. Анализ процесса очистки гидравлических масел с использованием программного пакета ANSYS.....	141
Гужин И.Н., Янзин В.М., Кузнецов С.А. Организация снабжения нефтепродуктами в условиях агропромышленного холдинга.....	144
Кузнецов С.А., Янзин В.М., Гужин И.Н. Обоснование функций сервисного центра современных тракторов на базе НИИ МППСХП.....	146
Миронов В.М. (Самарская ГСХА), Алексеева В.В. (Самарский государственный технический университет) Температурная зависимость коэффициентов диффузии Fe и Ni в железоникелевых сплавах при импульсной деформации.....	148
Фролов Ю.Н. Классификация алюминиевых сплавов.....	151
Черкашин Н.А. Определение диаметра отверстия после обработки пластическим деформированием.....	155
Воротягин М.И. Размерный анализ посадочных поверхностей заднего моста гусеничного трактора относительно базовых поверхностей.....	157
Кривченко А.Л. (Самарский ГТУ), Кирсанов Р.Г. (Самарская ГСХА), Петров Е.В. (Самарский ГТУ) Влияние потока высокоскоростных частиц вольфрама на свойства малоуглеродистых сталей.....	159

## МАШИНОИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ АПК

Новиков В.В., Беляев Д.В., Мишанин А.Л., Сабельников Д.А. Совершенствование загрузочного устройства пресс-экструдера.....	163
Новиков В.В., Палагута К.В., Мишанин А.Л., Зотеев С.В. Метод определения динамической вязкости экструдата.....	165
Новиков В.В., Успенская И.В., Беляев Д.В., Мишанин А.Л. Способ стабилизации процесса экструзии.....	167
Новиков В.В., Денисов С.В., Зотеев С.В. Теоретическое обоснование шага винта шнека в зоне питания.....	168
Клюканов А.В. (Самарская государственная академия путей сообщения) Исследование силовых характеристик процесса измельчения слежавшихся удобрений в дробилки валкового типа.....	170
Косяненко А.А. Исследование работы сводоразрушителя в бункере с щелевым днищем при выпуске труднотыпучих грузов.....	173
Мальцев Г.С., Мальцев В.С. Результаты экспериментальных исследований дозатора-смесителя.....	175
Костерин Д.Р. Теоретическое исследование процесса разделения суспензий в тонкослойных отстойниках.....	177
Янзина Е.В., Бармин Н.В. Современные источники света в животноводстве.....	179
Бухвалов Г.С., Карпов П.М. Влияние прямоточных фильтров на улучшение качества питьевой воды.....	181

<i>Кудряшов Р.И.</i> Классификация флотационных установок для очистки сточных вод сельскохозяйственных предприятий.....	184
<i>Береснев В.Л., Лукьянов Е.Ф., Логунцов А.А. (Самарская государственная академия путей сообщения)</i> Температурный режим стен промышленных силосных ёмкостей при загрузке...	187