

Известия

САМАРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ

№ 3/2013



**Современные технологии и средства
механизации растениеводства**

**Эффективность и эксплуатационная
надежность сельскохозяйственной техники**

**Машиноиспользование в специализированных
технологиях АПК**

ISSN 1997-3225



9 771997 322635

УДК 631.3
И-33

Учредители:
Министерство
сельского хозяйства
Российской Федерации
ФГОУ ВПО СГСХА

ISSN 1997-3225

Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии

Выпуск №3/2013

В соответствии с решением Президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России от 19 февраля 2010 года №6/6 журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук

Выпуск №3

**Современные технологии и
средства механизации
растениеводства**

**Эффективность и
эксплуатационная
надежность
сельскохозяйственной
техники**

**Машиноиспользование 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 область,
п.г.т. Усть-Кинельский,
ул. Учебная, 2

Тел.: (84663) 46-2-47

Факс: 46-6-70

E-mail: ssaariz@mail.ru

Отпечатано в типографии

ООО «Медиа-Книга»

г. Самара, ул. Песчаная, 1

Тел.: (846) 267-36-82.

E-mail: izdatkniga@yandex.ru

ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС

в каталоге «Почта России» – 72654

Подписано в печать 26.06.2013

Формат 60×84/8

Печ. л. 13,5.

Тираж 500. Заказ №.

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

Петров А. М., кандидат технических наук, профессор
Главный научный редактор, председатель
редакционно-издательского совета

Васин А. В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Зам. главного научного редактора

Редакционно-издательский совет

| | |
|----------------------------------|--------------------------------|
| Дулов Михаил Иванович | доктор с.-х. наук, профессор |
| Курочкин Анатолий Алексеевич | доктор техн. наук, профессор |
| Фатыхов Ильдус Шамильевич | доктор с.-х. наук, профессор |
| Кошеляев Виталий Витальевич | доктор с.-х. наук, профессор |
| Марковский Александр Анатольевич | кандидат биол. наук, доцент |
| Баймишев Хамидулла Балтуханович | доктор биол. наук, профессор |
| Ухтервов Андрей Михайлович | доктор с.-х. наук, профессор |
| Лапина Татьяна Ивановна | доктор биол. наук, профессор |
| Ленивцев Геннадий Александрович | кандидат техн. наук, профессор |
| Крючин Николай Павлович | доктор техн. наук, профессор |
| Шкрабак Владимир Степанович | доктор техн. наук, профессор |
| Коновалов Владимир Викторович | доктор техн. наук, профессор |
| Петрова Светлана Станиславовна | кандидат техн. наук, доцент |
| Заводчиков Николай Дмитриевич | доктор экон. наук, профессор |
| Мамай Оксана Владимировна | доктор экон. наук, доцент |
| Бондина Наталья Николаевна | доктор экон. наук, профессор |
| Косырев Василий Петрович | доктор пед. наук, профессор |
| Сычёва Галина Викторовна | кандидат истор. наук, доцент |

УДК 631.3

© ФГБОУ ВПО СГСХА, 2013

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА

УДК 631.331.022

РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ СЕМЯН ДЛЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ВЫСЕВА

Крючин Николай Павлович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Механика и инженерная графика» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия». 446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2. Тел.: 8(84663) 46-3-46.

Андреев Александр Николаевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Механика и инженерная графика» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия». 446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2. Тел.: 8(84663) 46-3-46.

Ключевые слова: посев, пневматическая, сеялка, горизонтальный, распределитель, семена, равномерность.

В статье представлено обоснование совершенствования горизонтальных распределительных устройств пневматических сеялок, конструкция, технологический процесс распределения семян горизонтальным распределителем пневматической сеялки.

В последние десятилетия в селекционном производстве при посеве на делянках сортоиспытания и предварительного размножения применялись сеялки типа СН-16. Высевающая система этих сеялок по конструкции сходна с традиционно применяемыми в промышленном производстве зерна сеялками семейства СЗ. В период интенсификации селекционного производства при разведении новых сортов культур данные сеялки перестали удовлетворять возрастающим требованиям по качеству проведения селекционных посевов. К тому же, особая важность посева обусловлена тем, что селекционная работа по размножению новых сортов связана с использованием дорогого, часто редкого посевного материала.

Помимо продольной равномерности высева, важным качеством любой сеялки является обеспечение поперечной равномерности распределения семян по рядкам [1, 4, 7]. Широко используемая в селекционном производстве сеялка СН-16 не в полной мере отвечает современным требованиям качества поперечной равномерности распределения семян по рядкам. Это обуславливается тем, что количество семян на каждый рядок дозируется отдельным высевающим аппаратом, а обеспечить строго равное количество высеваемого материала отдельным аппаратом довольно затруднительно и часто не контролируемо, так как селекционером определяется только общая норма высева всей сеялкой, а не отдельного аппарата.

Цель исследования – разработка новой конструкции высевающей системы селекционной сеялки, обеспечивающей повышение поперечной равномерности распределения семян по рядкам. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- 1) разработать и обосновать конструкцию высевающей системы пневматической сеялки;
- 2) изготовить экспериментальный распределитель семян для высевающей системы с пневматическим транспортированием;

3) провести лабораторные исследования по определению качественных показателей работы экспериментального распределителя.

Исследованиями многих ученых доказано, что применение в посевных машинах распределительно-транспортных систем с использованием пневматики весьма перспективно [2, 3]. При этом сокращается металлоемкость сеялок, повышаются их эксплуатационные показатели, создаются условия для разработки широкозахватных и весьма мобильных посевных агрегатов [8].

Предлагаемые технологии высева семян предусматривают использование централизованного или группового высева с пневматическим транспортированием семян в сошники (рис. 1). В результате проведенного анализа было установлено, что для высевающих систем более перспективной является распределительно-транспортная система с использованием плоских распределительных головок [4, 7]. Они менее энергоемки и дают достаточно высокое качество распределения семян по сошникам.

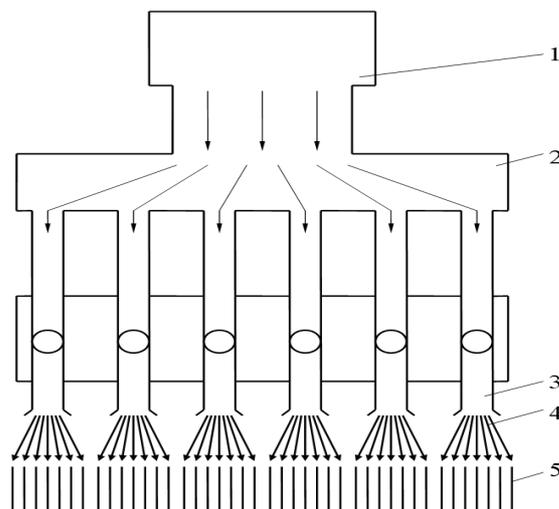


Рис. 1. Схема распределительно-транспортной системы экспериментальной пневматической сеялки:

1 – вентилятор; 2 – ресивер; 3 – эжектор; 4 – распределитель потока семян; 5 – семяпроводы

Однако характер поведения этих систем на высевах небольших участков по размножению селекционируемых культур экспериментально мало изучен.

Качество выполнения технологического процесса высева семян в высевающих системах централизованного и группового дозирования зависит от работы используемых для распределения семян по семяпроводам распределителей потока или так называемых делительных головок. С точки зрения энергоемкости выполняемого процесса и условий компоновки сеялок предпочтение отдается распределителям потока семян горизонтального типа. Однако устройства с исполнением в виде одного подводящего патрубка и нескольких отводящих (до 10) не отличаются высокой точностью деления потока семян на части. Поперечная неравномерность распределения семян достигает 35-45% [5, 6, 9, 10].

Для обеспечения более качественного распределения семян по семяпроводам предложен горизонтальный распределитель (рис. 2) с рассеивателем потока, выполненным в виде установленных в шахматном порядке в раструбе распределителя цилиндрических стержней. Стержни расставлялись в плоскостях перпендикулярных осевой линии делителя.

При анализе работы распределителя потока семян было отмечено, что на качество деления потока оказывают влияние следующие факторы: количество стержней; угол наклона рассеивателя к подводящему патрубку и длина раструбы рассеивателя. Для изучения влияния наиболее существенных факторов на равномерность деления потока семян были разработаны экспериментальные образцы распределителей, которые позволяли делить входящий поток на семь частей, что было обусловлено конструктивно-технологическими схемами разрабатываемых сеялок.

В лабораторных опытах исследовались образцы распределителей с длиной рассеивателей от 100 до 140 мм. Количество плоскостей установки стержней составляло 3, 4 и 5. Стержни расставлялись в поперечных сечениях таким образом, чтобы точки пересечения их с патрубком образовывали вершины равнобедренных треугольников со стороной 18 мм. Для экспериментов изготавливали распределители с углом наклона рассеивателя к оси входного патрубка 0, 5, 10, 15 и 20 градусов. При увеличении угла более 20 градусов наблюдалось травмирование семян.

Изучение процесса разделения семявоздушного потока на части осуществлялось на лабораторной установке (рис. 3).

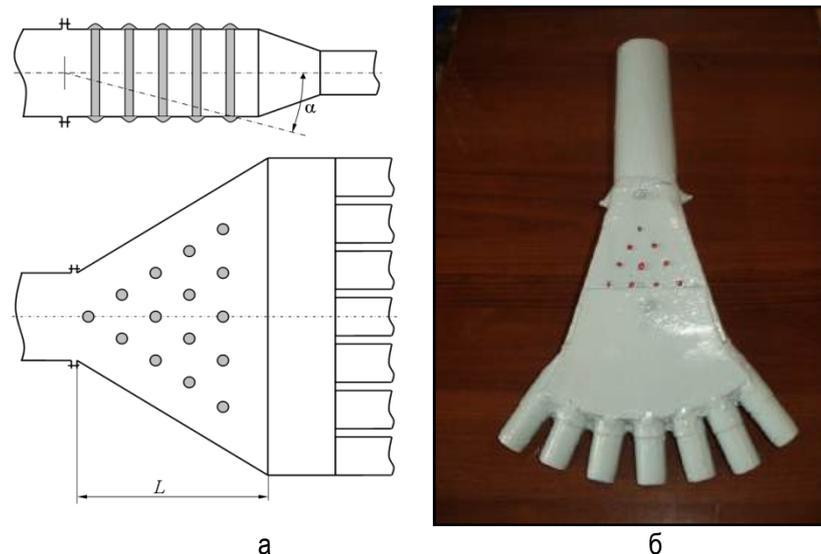


Рис. 2. Схема (а) и общий вид (б) экспериментального распределителя потока семян с рассеивателем

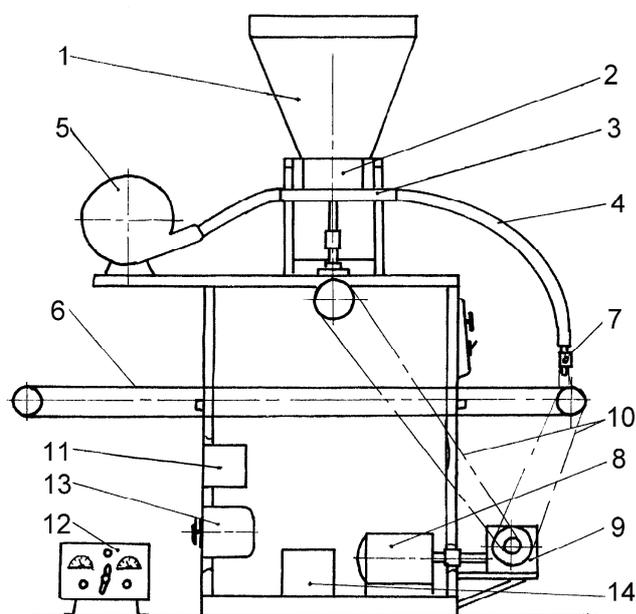


Рис. 3. Схема лабораторной установки для исследования пневматической распределительно-транспортной системы сеялки:
 1 – бункер; 2 – высевочный аппарат; 3 – эжекторное вводное устройство; 4 – пневмосемяпровод; 5 – вентилятор; 6 – липкая лента; 7 – направитель семян; 8 – электродвигатель; 9 – редуктор; 10 – цепная передача; 11 – тахометр; 12, 14 – блоки питания; 13 – автотрансформатор

Опыты проводились при одинаковой постоянной скорости воздушного потока и подачи семян в эжекторное устройство.

Для исследований использовались семена козлятника восточного. Лабораторные исследования проводились в следующем порядке. В бункер высевочного аппарата засыпались семена, а на трубки распределителя устанавливались мешочки для сбора семян. Семена из бункера высевочным устройством подавались в эжекторное устройство и далее потоком воздуха направлялись в рассеиватель, где в результате соударений со стержнями и между собой распределялись по сечению отводной части делителя. Распределенные по отводящим патрубкам семена собирались в марлевые мешочки. После проведения опыта мешочки с семенами взвешивались.

По полученным результатам определялась неравномерность подачи в трубки распределителя, и строились графики зависимости неравномерности деления семян от различных параметров рассеивателя.

Неравномерность деления потока подсчитывалась по формулам

$$\bar{q}_B = \frac{\sum_{i=1}^{n_n} q_{Bi}}{n_m}; \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_n} (q'_{Bi} - \bar{q}_B)^2}{n_n - 1}}; \quad (2)$$

$$v = \frac{\sigma}{\bar{q}_B} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где $\sum q'_{Bi}$ – масса семян, высеянных через все отводящие патрубки, г;

q_{Bi} – масса семян, высеянных через каждый отводящий патрубок, г;

v – коэффициент вариации равномерности распределения семян по отводящим патрубкам делителя, %;

σ – среднее квадратическое отклонение, г;

\bar{q}_B – средняя масса семян, высеянных через все патрубки делителя, г.

В процессе экспериментальных исследований была проведена оценка влияния основных элементов рассеивателя на равномерность деления потока семян на части. По полученным данным строились графики зависимости влияния количества стержней, их размещения в патрубке, длины и угла наклона рассеивателя к оси распределителя на равномерность деления потока семян по семяпроводам.

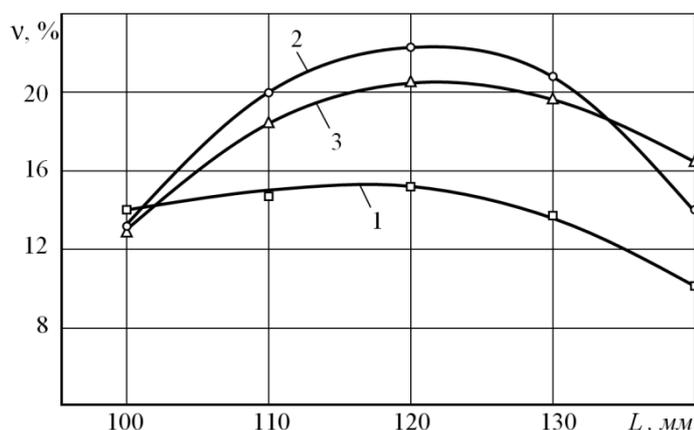


Рис. 4. Зависимость равномерности распределения потока семян на части от длины рассеивателя:
1 – пст = 3 шт.; 2 – пст = 4 шт.; 3 – пст = 5 шт.

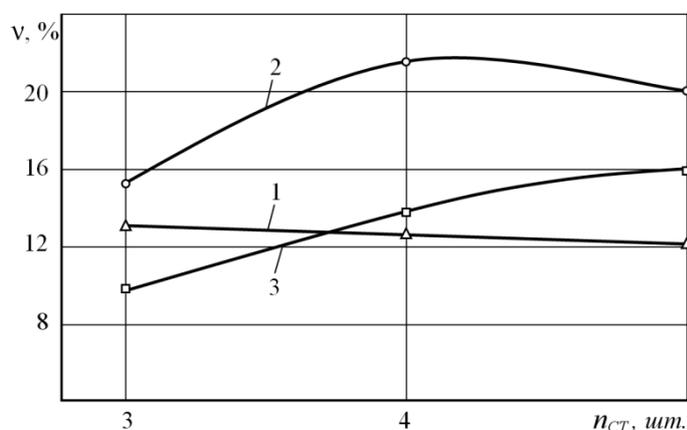


Рис. 5. Зависимость равномерности распределения потока семян на части от количества плоскостей установки стержней:
1 – L = 100 мм; 2 – L = 120 мм; 3 – L = 140 мм

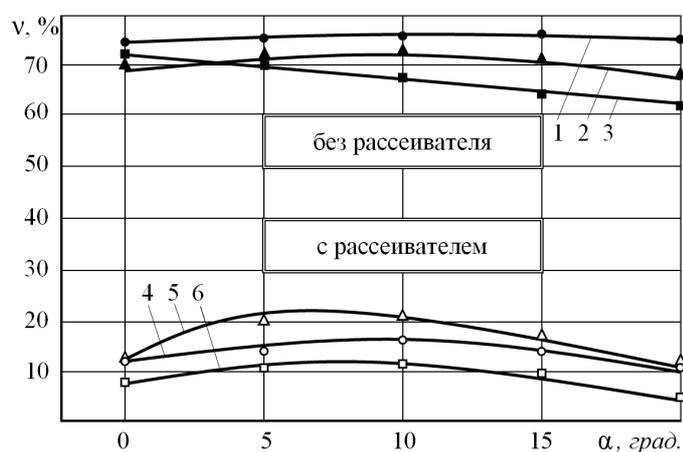


Рис. 6. Зависимость равномерности распределения потока семян на части от угла наклона рассеивателя: 1, 4 – L = 100 мм; 2, 5 – L = 120 мм; 3, 6 – L = 140 мм

Предварительные опыты показали особую значимость числа плоскостей со стержнями и длины рассеивателя на поперечную равномерность распределения, но не позволили определить их наилучшее сочетание. Поэтому с целью оценки комплексного воздействия параметров рассеивателя на качество деления потока и нахождения их оптимальных значений были проведены исследования по теории многофакторного планирования экспериментов.

На основании полученных данных было установлено, что размещение в рассеивателе распределителя длиной 130 мм 4-х плоскостей со стержнями (10 стержней) позволило снизить неравномерность распределения потока семян на части с 62 до 4,9%.

Анализ показал незначительное влияние угла наклона рассеивателя на равномерность, поэтому в дальнейших исследованиях для большей технологичности конструкции и более сглаженного протекания процесса транспортирования семян в делителе угол наклона рассеивателя был принят 20°, при установке которого также обеспечивается наименьшая неравномерность высева.

На основании исследований получены следующие результаты:

- 1) разработана и обоснована конструкция горизонтального распределителя семян селекционной пневматической сеялки;
- 2) изготовлен экспериментальный горизонтальный распределитель семян пневматической селекционной сеялки для посева делянок сортоиспытания и предварительного размножения;
- 3) проведены лабораторные исследования экспериментального распределителя, показывающие ее качественные показатели работы.

Учитывая вышеизложенное, рекомендуем применять представленные технические решения при разработке новых селекционных и промышленных посевных агрегатов.

Библиографический список

1. Андреев, А. Н. Совершенствование процесса высева селекционными сеялками // Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности : сб. науч. тр. – Тамбов : ТРОО, 2013. – Ч. 9. – 163 с.
2. Анискин, В. И. Основные результаты и направления развития механизации работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве зерновых культур / В. И. Анискин, Ю. Ф. Некипелов // Техника в сельском хозяйстве. – 2004. – №6. – С. 43-47.
3. Бурлака, Н. В. Оценка формирования и движения семявоздушной смеси в пневмоструйном высевальном аппарате // Актуальные проблемы сельскохозяйственной науки и образования : сб. науч. тр. – Самара, 2005. – С. 81-84.
4. ВИМ предлагает. Селекционные сеялки [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.vim.ru/index.php> (дата обращения: 15.04.2013). – Загл. с экрана.
5. Ивженко, С. А. Теоретические исследования процесса истечения семян в заборную камеру высевального аппарата. / С. А. Ивженко, И. В. Трубенкова // Актуальные проблемы сельскохозяйственной науки и образования : сб. науч. тр. – Самара, 2005. – С. 101-103.
6. Крючин, Н. П. Посевные машины. Особенности конструкций и тенденции развития : монография. – Самара : РИЦ СГСХА, 2003. – 117 с.
7. Крючин, Н. П. Пневматическая сеялка для посева костреца / Н. П. Крючин, С. В. Сафонов // Кормопроизводство. – 2007. – №6. – С. 26-27.
8. Крючин, Н. П. Модернизация сеялки СН-16 / Н. П. Крючин, А. Н. Андреев // Сельский механизатор. – 2009. – №3. – С. 10-11.

ОБОСНОВАНИЕ ТЯГОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО ПЛУГА ДЛЯ ЯРУСНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Гниломёдов Владимир Григорьевич, канд. техн. наук, проф., зав. кафедрой «Эксплуатация машинно-тракторного парка» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446436, Самарская область, г. Кинель, ул. Ново-Садовая, д. 75.

Тел.: 8(846 63) 4-63-46.

Сазонов Дмитрий Сергеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446441, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 10.

Тел.: 8(84663) 46-3-46.

Ерзамаев Максим Павлович, ст. преподаватель кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Элитная, д. 1.

Тел.: 8(846 63) 4-64-10.

Ключевые слова: комбинированная, ярусная, обработка, почва, плужный, корпус, рыхлитель, почвообрабатывающий, агрегат, тяговое, сопротивление.

Дано теоретическое обоснование тягового сопротивления комбинированного плуга для ярусной обработки почвы.

Наиболее перспективным способом введения в севооборот необрабатываемых земель и повышения плодородия почвы является ярусная обработка. Одним из показателей высокого эффекта работы при этом является качественное рыхление каждого из слоев почвы. Однако реализация существующих технологических приемов ярусной обработки почвы требует высоких энергетических затрат, что сдерживает их внедрение в производство.

Цель исследования – теоретическое обоснование тягового сопротивления комбинированного плуга для ярусной обработки почвы, *задача исследования* – изучить влияние конструктивных и технологических параметров почвообрабатывающих рабочих органов, свойств обрабатываемой почвы и скорости движения агрегата на тяговое сопротивление комбинированного плуга.

Тяговое сопротивление разработанного комбинированного плуга для ярусной обработки почвы с рыхлением подпахотного горизонта является основным показателем, определяющим энергетические затраты технологического процесса.

Согласно исследованиям [1, 2, 6, 7, 9, 10] по определению тягового сопротивления почвообрабатывающих рабочих органов, технологический процесс комбинированного плуга при взаимодействии с обрабатываемым слоем почвы будет представлять работу лемешно-отвального корпуса верхнего яруса и рыхляще-го безлемешно-отвального корпуса нижнего яруса (рис. 1).

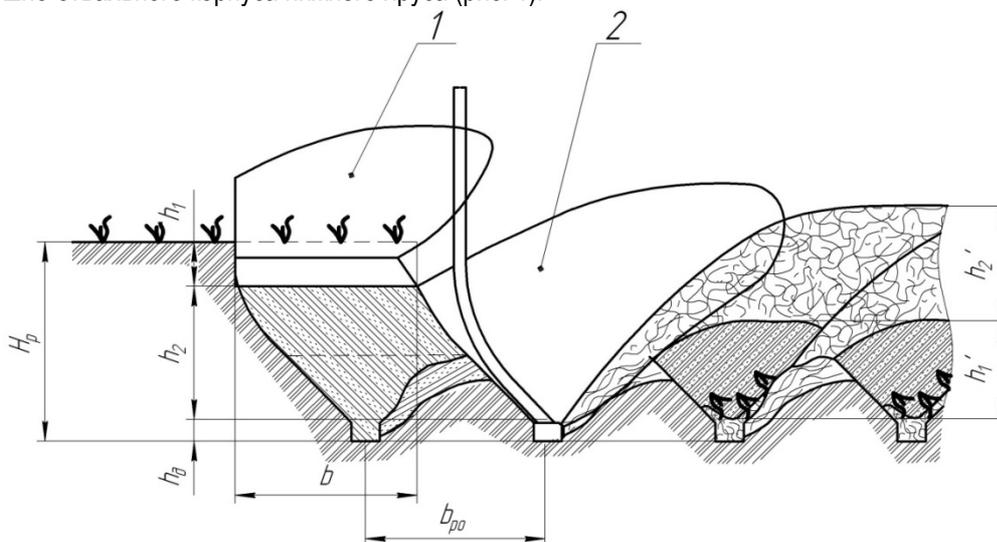


Рис. 1. Схема рабочей секции комбинированного плуга:

1 – лемешно-отвальный корпус верхнего яруса; 2 – рыхляще-отвальный корпус нижнего яруса

Лемешно-отвальный корпус верхнего яруса работает по известной классической схеме отвального плужного корпуса – подрезание пласта почвы верхнего слоя с глубиной h_1 , отделение его от почвенного монолита, рыхление и оборот. При предлагаемом технологическом процессе этот пласт укладывается в середину обрабатываемого горизонта в борозду на предварительно разрыхленный в предыдущем проходе подпахотный горизонт.

Рыхлящий безлемешно-отвальный корпус нижнего яруса с глубиной H_p работает следующим образом [8]:

- долотом производится одновременное разрыхление нижнего слоя почвы и подпахотного горизонта без подрезания, без образования «плужной подошвы»;
- в предварительно разрыхленном почвенном горизонте отвалом отделяется нижний слой почвы от подпахотного горизонта, а затем транспортируется, оборачивается и укладывается поверх ранее уложенного верхнего слоя почвы.

Поэтому тяговое сопротивление секции рабочих органов комбинированного плуга определяется суммой сопротивлений

$$P_c = P_{в\text{я}} + P_{н\text{я}}, \quad (1)$$

где P_c – тяговое сопротивление одной секции рабочих органов комбинированного плуга, Н; $P_{в\text{я}}$ – тяговое сопротивление корпуса верхнего яруса, Н; $P_{н\text{я}}$ – тяговое сопротивление корпуса нижнего яруса, Н.

Тяговое сопротивление корпуса верхнего яруса можно определить по рациональной формуле академика В. П. Горячкина [4].

Тяговое сопротивление корпуса нижнего яруса определяется суммой сопротивлений долота, рыхлительной и отвальной поверхностей:

$$P_{н\text{я}} = P_d + P_p + P_o, \quad (2)$$

где P_d – тяговое сопротивление долота, Н; P_p – тяговое сопротивление рыхлительной поверхности отвала, Н; P_o – тяговое сопротивление отвальной поверхности корпуса нижнего яруса, Н.

В соответствии с работами [1, 2, 7, 10, 11] тяговое сопротивление долота можно определить как сопротивление трехгранного косооставленного клина, имеющего вытянутую рабочую поверхность и режущую кромку, расположенных под углом α_d (рис. 2) к горизонту с режущей кромкой под углом γ_d по направлению движения. Так как долото работает на достаточно большой глубине, то можно предположить, что при этом осуществляется как сжатие почвы, так и ее сдвиг с последующим периодическим отрывом определенных объемов почвы. Рабочая поверхность долота расположена к горизонту по направлению движения под углом α_d – угол крошения почвы долотом, а во фронтальной плоскости под углом β_d – угол постановки рабочей поверхности долота в поперечно-вертикальной плоскости. При этом режущая кромка долота длиной l_{pk} расположена горизонтально, образуя с линией движения угол γ_d – угол резания почвы, и вырезает пласт почвы шириной b_d и высотой h_d .

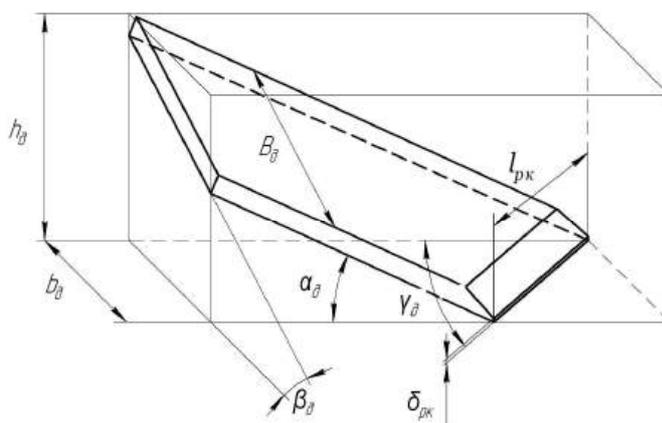


Рис. 2. Конструкционные параметры долота

Тяговое сопротивление *долота* в данном случае определится суммой сопротивлений: на вдавливание режущей кромки долота в почву и сдвиг вырезанного почвенного объема.

Основываясь на теоретических исследованиях А. Н. Зеленина по определению сил резания клинообразного рабочего органа [5], тяговое сопротивление долота рыхлителя, учитывая его геометрию, определится следующей зависимостью:

$$P_{\partial} = \tau_{max} \cdot h_{\partial} \cdot B_{\partial} \cdot \frac{\cos \beta_{\partial} \cdot \cos \varphi \cdot \sin(\alpha_{\partial} + 2\varphi')}{\cos \varphi' \cdot \cos^2\left(\frac{\alpha_{\partial} + \varphi + \varphi'}{2}\right)} + \sigma_{сж} \cdot \delta_{рк} \cdot l_{рк} \cdot \sin \gamma_{\partial}, \quad (3)$$

где τ_{max} – максимальная величина касательных напряжений при сдвиге почвы в предельно напряженном состоянии, Па; h_{∂} – высота пласта почвы вырезаемого долотом, м; B_{∂} – ширина рабочей поверхности долота, м; β_{∂} – угол постановки рабочей поверхности долота в поперечно-вертикальной плоскости, град.; φ – угол трения почвы о металл, град.; φ' – угол внутреннего трения почвы, град.; α_{∂} – угол крошения почвы долотом, град.; $\sigma_{сж}$ – напряжение сжатия почвы режущей кромкой долота, Па; $l_{рк}$ – длина режущей кромки, м; $\delta_{рк}$ – толщина режущей кромки, м; γ_{∂} – угол резания почвы долотом, град.

Работу рыхления после долота продолжает рыхлительная поверхность корпуса нижнего яруса, выполненная в виде косопоставленного клина треугольной формы (рис. 3).

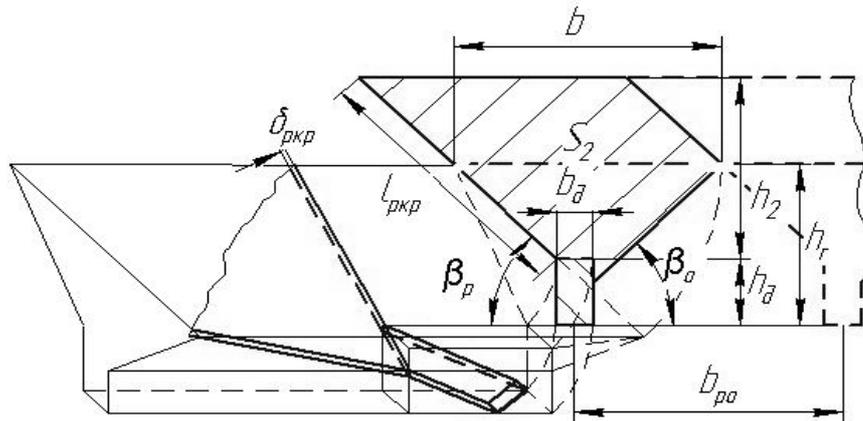


Рис. 3. Рыхлительная часть корпуса нижнего яруса

Тяговое сопротивление рыхлительной поверхности корпуса нижнего яруса можно определить по аналогии с зависимостью тягового сопротивления долота рыхлителя:

$$P_p = \tau_{max} \cdot S_2 \cdot \frac{\cos \varphi \cdot \sin(\alpha_p + 2\varphi')}{\cos \varphi' \cdot \cos^2\left(\frac{\alpha_p + \varphi + \varphi'}{2}\right)} + \sigma_{сж} \cdot S_{ркр}, \quad (4)$$

где α_p – угол крошения почвы рыхлительной поверхностью, град.; $S_{ркр} = \delta_{ркр} \cdot l_{ркр} \cdot \sin \gamma_p$ – площадь смятия почвы режущей кромкой рыхлительной поверхности корпуса нижнего яруса, м²; $\delta_{ркр}$ – толщина режущей кромки рыхлительной поверхности корпуса, м; $l_{ркр}$ – длина рабочей части режущей кромки рыхлительной поверхности корпуса, м; γ_p – угол резания почвы рыхлительной поверхностью (угол между режущей кромкой и фронтальной плоскостью), град.

Площадь S_2 поперечного сечения пласта, обрабатываемого рыхлительной поверхностью корпуса нижнего яруса, определенная в зависимости от технологических параметров обработки почвы и от конструктивных параметров рыхлительной поверхности корпуса нижнего яруса:

$$S_2 = \left(l_{ркр} \cdot \sin \gamma_p \cdot \sin \beta_p - \frac{\beta_{po}}{2} \cdot \text{tg} \beta_o + h_{\partial} \right) \cdot b_{po} + \frac{b_{po} + b_{\partial}}{2} \cdot \left(\frac{b_{po}}{2} \cdot \text{tg} \beta_o - h_{\partial} \right), \quad (5)$$

где β_p – угол сдвига почвы рыхлительной поверхностью, град.; β_{po} – интервал расстановки рабочих органов на плуге, м; b_{∂} – ширина пласта почвы вырезаемого долотом, м.

Технологический процесс работы корпуса нижнего яруса завершает его отвальная поверхность, которая оборачивает и перемещает нижний пласт почвы.

Тяговое сопротивление отвальной поверхности корпуса нижнего яруса можно определить по величине затраченной работы на выполнение транспортирования определенного объема почвы с последующим отбрасыванием в борозду.

Отвальная поверхность корпуса нижнего яруса совершает работу по перемещению пласта почвы S_2 на расстояние Z_{12} (рис. 4). При выполнении работы происходит изменение потенциальной энергии пласта за счет изменения высоты его расположения на Z_{12} и за счет сил трения – перемещение по направлению движения на X_{12} .

Для транспортировки пласта почвы на необходимое расстояние требуется сообщить пласту импульс

$$p = m_{пл} \cdot v_{пл}, \quad (6)$$

где $m_{пл}$ – масса вырезаемого пласта почвы, кг; $v_{пл}$ – абсолютная скорость движения пласта, м/с.

Массу вырезаемого пласта почвы можно представить зависимостью

$$m_{пл} = \rho \cdot S_2 \cdot v_{арп} \cdot t_{арп}, \quad (7)$$

где ρ – плотность вырезаемого пласта почвы, кг/м³; $v_{арп}$ – рабочая скорость движения пахотного агрегата, м/с; $t_{арп}$ – рассматриваемый интервал времени движения пахотного агрегата, с.

Абсолютная скорость движения пласта $v_{пл}$ должна обеспечить перемещение центра массы почвы из положения 1 в положение 2 (рис. 4), координаты которого можно представить как X_{12}, Y_{12}, Z_{12} .

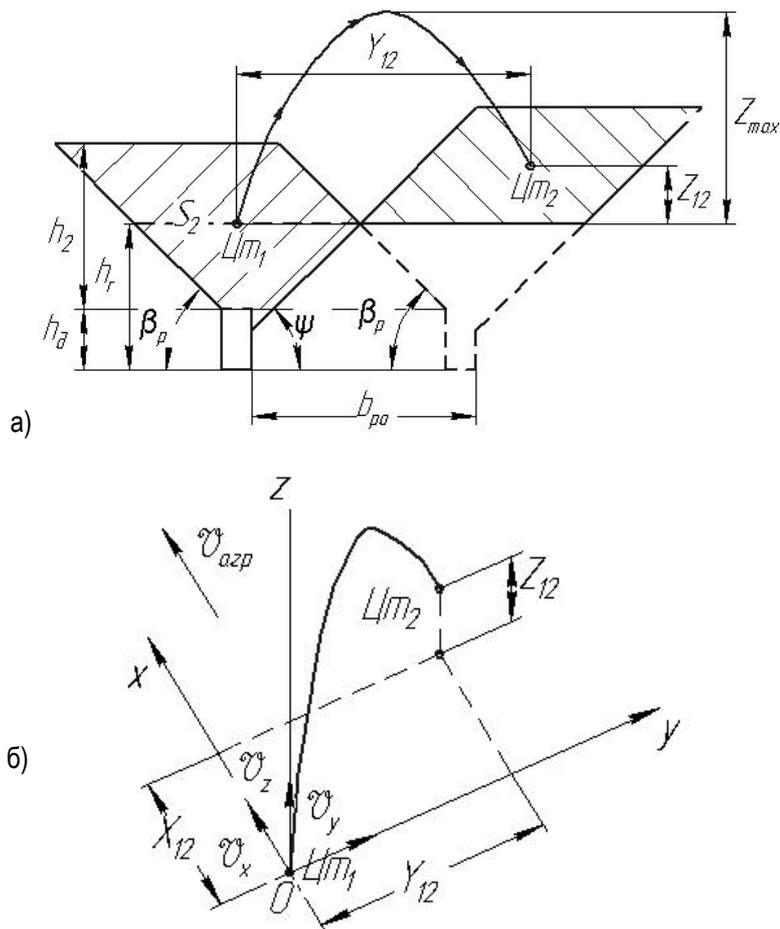


Рис. 4. Схема к определению работы по перемещению нижнего слоя почвы:
а – геометрические параметры вырезаемого пласта; б – траектория движения центра тяжести вырезаемого пласта

Пренебрегая сопротивлением воздуха, движение пласта почвы после схода с отвальной поверхности корпуса нижнего яруса можно представить параметрическим уравнением

$$\begin{cases} X_{12} = v_{пл}^x \cdot t_{пл}; \\ Y_{12} = v_{пл}^y \cdot t_{пл}; \\ Z_{12} = v_{пл}^z \cdot t_{пл} - \frac{g \cdot t_{пл}^2}{2}, \end{cases} \quad (8)$$

где $v_{пл}^x, v_{пл}^y, v_{пл}^z$ – проекции вектора абсолютной скорости движения пласта $v_{пл}$ по осям Ox, Oy, Oz в прямоугольной пространственной системе координат, м/с; $t_{пл}$ – время свободного движения пласта после схода с отвальной поверхности корпуса нижнего яруса, с; g – ускорение свободного падения, м/с².

Выразив из данного параметрического уравнения составляющие скорости, получим следующую систему уравнений

$$\begin{cases} v_{пл}^x = \frac{X_{12}}{t_{пл}}; \\ v_{пл}^y = \frac{Y_{12}}{t_{пл}}; \\ v_{пл}^z = \frac{Z_{12}}{t_{пл}} + \frac{g \cdot t_{пл}}{2}. \end{cases} \quad (9)$$

Учитывая параметрическое уравнение (9), скорость пласта почвы можно представить зависимостью

$$v_{пл} = \sqrt{\left(\frac{X_{12}}{t_{пл}}\right)^2 + \left(\frac{Y_{12}}{t_{пл}}\right)^2 + \left(\frac{Z_{12}}{t_{пл}} + \frac{g \cdot t_{пл}}{2}\right)^2} \quad (10)$$

или

$$v_{пл} = \frac{1}{t_{пл}} \sqrt{X_{12}^2 + Y_{12}^2 + Z_{12}^2 + Z_{12} \cdot g \cdot t^2 + \frac{g^2 \cdot t^4}{4}}. \quad (11)$$

При условии $t_{арп} = t_{пл}$, для транспортировки вырезаемого пласта почвы, необходимая величина импульса определится из уравнения

$$p = \rho \cdot S_2 \cdot v_{арп} \cdot \sqrt{X_{12}^2 + Y_{12}^2 + Z_{12}^2 + Z_{12} \cdot g \cdot t_{пл}^2 + \frac{g^2 \cdot t_{пл}^4}{4}}. \quad (12)$$

Учитывая то, что импульс сообщается пласту в течение времени $t_{имп}$, пока пласт движется по отвальной поверхности, то величина тягового сопротивления отвальной поверхности будет равна:

$$P_{отв} = \rho \cdot S_2 \cdot v_{арп} \cdot \sqrt{X_{12}^2 + Y_{12}^2 + Z_{12}^2 + Z_{12} \cdot g \cdot t_{пл}^2 + \frac{g^2 \cdot t_{пл}^4}{4}} / t_{имп}. \quad (13)$$

Учитывая выражения (3), (4) и (13) тяговое сопротивление корпуса нижнего яруса (2) примет вид:

$$P_{ня} = \tau_{max} \left[h_{\partial} \cdot B_{\partial} \cdot \frac{\cos \beta_{\partial} \cdot \cos \varphi \cdot \sin(\alpha_{\partial} + 2\varphi')}{\cos \varphi' \cdot \cos^2\left(\frac{\alpha_{\partial} + \varphi + \varphi'}{2}\right)} + S_2 \cdot \frac{\cos \varphi \cdot \sin(\alpha_p + 2\varphi')}{\cos \varphi' \cdot \cos^2\left(\frac{\alpha_p + \varphi + \varphi'}{2}\right)} \right] + \sigma_{сж}(\delta_{рк} \cdot l_{рк} \cdot \sin \gamma_{\partial} + S_{ркп}) + \rho \cdot S_2 \cdot v_{арп} \cdot \sqrt{X_{12}^2 + Y_{12}^2 + Z_{12}^2 + Z_{12} \cdot g \cdot t_{пл}^2 + \frac{g^2 \cdot t_{пл}^4}{4}} / t_{имп}. \quad (14)$$

Тяговое сопротивление секции рабочих органов (1) учитывая выражение (14) определится следующим образом

$$P_c = G_{вя} \cdot f_{вя} + k_{вя} h_1 b + \varepsilon h_1 b v_{арп} + \tau_{max} \left[h_{\partial} \cdot B_{\partial} \cdot \frac{\cos \beta_{\partial} \cdot \cos \varphi \cdot \sin(\alpha_{\partial} + 2\varphi')}{\cos \varphi' \cdot \cos^2\left(\frac{\alpha_{\partial} + \varphi + \varphi'}{2}\right)} + S_2 \cdot \frac{\cos \varphi \cdot \sin(\alpha_p + 2\varphi')}{\cos \varphi' \cdot \cos^2\left(\frac{\alpha_p + \varphi + \varphi'}{2}\right)} \right] + \rho \cdot S_2 \cdot v_{арп} \cdot \sqrt{X_{12}^2 + Y_{12}^2 + Z_{12}^2 + Z_{12} \cdot g \cdot t_{пл}^2 + \frac{g^2 \cdot t_{пл}^4}{4}} / t_{имп}. \quad (15)$$

Общее тяговое сопротивление плуга $P_{кп}$ будет равно

$$P_{кп} = n_c \cdot P_c, \quad (16)$$

где n_c – количество секций комбинированного плуга, шт.

Представленные теоретические выражения (3), (4), (13), (14) и (15) для определения составляющих тягового сопротивления рабочих органов, выполняющих предлагаемый новый технологический процесс ярусной обработки почвы, позволяют учитывать влияние конструкционных и технологических параметров почвообрабатывающих рабочих органов, свойств обрабатываемой почвы и скорости движения агрегата, но для аналитического вычисления тягового сопротивления необходимы экспериментальные данные физических (плотность, твердость) и механических свойств почвы (величины нормальных и касательных предельных напряжений, углы скола почвы, коэффициенты внутреннего и внешнего трения).

Подставив исходные значения [3] в выражения (14), (15) и (16), получили следующие значения тягового сопротивления обработки почвы корпусами нижнего яруса и комбинированным плугом (табл. 1).

Таблица 1

Тяговое сопротивление обработки почвы плугом и корпусами нижнего яруса при $h_1=0,06$ м

| Глубина рыхления, м | Тяговое сопротивление корпусов нижнего яруса, Н | Общее тяговое сопротивление плуга, Н |
|---------------------|---|--------------------------------------|
| 0,25 | 19500 | 25000 |
| 0,3 | 23000 | 28500 |
| 0,35 | 27250 | 32750 |
| 0,4 | 31550 | 37050 |
| 0,45 | 36500 | 42000 |

Результаты проведённых исследований могут использоваться при совершенствовании технологий ярусных обработок почвы, а также при разработке и совершенствовании конструкций комбинированных почвообрабатывающих агрегатов на стадии проектирования.

Библиографический список

1. Бойкова, Е. В. Результаты производственных испытаний плуга с новыми рабочими органами // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – 2008. – №1. – С. 27-28.
2. Бурченко, П. Н. Механико-технологические основы почвообрабатывающих машин нового поколения : монография. – М. : ГНУ ВИМ, 2002. – 212 с.
3. Ерзамаев, М. П. Повышение эффективности вспашки разработкой и применением способа ярусной обработки почвы и комбинированного плуга : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Ерзамаев Максим Павлович. – Пенза, 2012. – 169 с.
4. Жук, А. Ф. Интерпретация рациональной формулы В. П. Горячкина // Техника в сельском хозяйстве. – 2007. – №6. – С. 44-46.
5. Зеленин, А. Н. Основы разрушения грунтов механическими способами : монография – М. : Машиностроение, 2004. – 375 с. : ил.
6. Коршиков, А. А. О глубоком рыхлении почвы / А. А. Коршиков, А. А. Михайлин // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2003. – №4. – С. 28-30.
7. Лобачевский, Я. П. Современное состояние и тенденции развития почвообрабатывающих машин : монография / Я. П. Лобачевский, Л. М. Колчина. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 116 с.
8. Пат. 2456787 Российская Федерация. Способ ярусной обработки почвы: заявка на изобретение / Афонин А. Е., Гнилomёдов В. Г., Ерзамаев М. П. [и др.]. – №2010150772/13 ; заявл. 10.12.12 ; опубл. 27.07.12, Бюл. №21. – 5 с.
9. Пархоменко, Г. Г. Машины для глубокой обработки почвы в засушливых условиях юга России / Г. Г. Пархоменко, В. Г. Рыков, В. И. Таранин // Техника и оборудование для села. – 2005. – № 9. – С. 15-16.
10. Ревякин, Е. Л. Чизелевание почвы: состояние, перспективы и проблемы / Е. Л. Ревякин, Т. П. Нино // Техника и оборудование для села. – 2005. – №11. – С. 18-21.
11. Тырнов, Ю. А. ПРУН – «мастер на все руки» / Ю. А. Тырнов, А. Н. Зазуля, В. Г. Гнилomёдов [и др.] // Сельский механизатор. – 2007. – №9. – С. 14-15.

УДК 631.363

РЕЗУЛЬТАТЫ СТЕНДОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УСТРОЙСТВА ТОЧНОГО ВЫСЕВА АМАРАНТА МЕТЕЛЬЧАТОГО ПРИ ПОСЕВЕ НА ЛИПКУЮ ЛЕНТУ

Артамонов Евгений Иванович, ст. преподаватель кафедры «Надежность и ремонт машин» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Селекционная 16.

Тел.: 8-927-73-019-08.

Галенко Иван Юрьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Надежность и ремонт машин» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная 12.

Тел.: 8-927-68-503-76.

Ключевые слова: амарант, посев, устройство, стенд, равномерность.

Приведены результаты лабораторных исследований высевающего устройства для точного высева амаранта метельчатого при посеве на липкую ленту. Представлено описание конструкции разработанного стенда для проведения исследований.

Развитие животноводства в Поволжском регионе ставит вопрос о необходимости увеличения производства и применения высокоэффективных кормов. Одной из перспективных кормовых культур, обладающих высокой урожайностью и питательной ценностью, является амарант метельчатый, интерес к которому вырос в последние годы. ГНУ НИИС им. Константинова Самарской области проводит селекционные исследования по воспроизводству данной культуры. Лицензирован сорт амаранта «Кинельский 254», проводится работа по созданию новых сортов кормового и зернового направления [1].

Одним из главных условий, позволяющих обеспечить достижение высокой планируемой урожайности амаранта, является его точный посев с заданным межсеменным интервалом. Равномерное распределение растений необходимо в связи с высокими требованиями к зоне питания. В то же время анализ существующей агропрактики и конструкций современных высевающих устройств показывает [9], что они не

позволяют полностью соблюдать агротребования по точности распределения семян в рядке при посеве амаранта, ввиду особо малых размеров семян и особенностей их физико-механических свойств.

На инженерном факультете Самарской государственной сельскохозяйственной академии под руководством профессора В. П. Гниломедова в 2003-2005 гг. проведены исследования по созданию устройства, способного выполнить точный посев амаранта метельчатого [9]. В настоящее время, проводится разработка опытного образца на основании конструктивных решений по патентам РФ № 61981 и № 2347349 [3, 4]. Опытные посе́вы, выполненные в ГНУ НИИС им. Константинова экспериментальным высевальным устройством показали принципиальную возможность его применения при возделывании амаранта метельчатого сорта Кинельский 254 [2].

Цель исследования – обоснование конструкции высевального устройства, позволяющего выполнить точный посев семян амаранта метельчатого при моделировании полевых условий на стенде.

Задачи исследований: разработать стенд для исследований равномерности высева семян высевальной секцией, с возможностью моделирования работы в полевых условиях и фиксацией результата на липкой ленте; провести исследования равномерности высева и определить рациональные конструктивные и режимные параметры высевального устройства для точного высева семян амаранта.

На кафедре «Надежность и ремонт машин» Самарской ГСХА разработан стенд для лабораторных исследований равномерности высева семян с.-х. культур на ленту. Стенд (рис. 1) состоит из рамы 1, опорно-приводного механизма 2 и высевальной секции 3 (собранной на базе секции сеялки ССТ – 12Б) с исследовательским высевальным устройством 4, установленным над ленточным транспортером 5. Привод стенда осуществляется через опорно-приводной механизм 2 ременной передачей 6 от стенда КИ-22205, что позволяет плавно и бесступенчато менять скорость движения ленты. Опорно-приводной механизм состоит из опорно-приводных валов 7 и 8, цепной передачи натяжной звездочки 9. Ременная передача 6 передает вращение на вал 7 через шкив. Привод высевального устройства осуществляется от валов 7 и 8 через опорное пневматическое колесо 10 и редуктор 11 привода высевальной секции. Диапазон частоты вращения высевального диска изменяется редуктором 11 при помощи цепной передачи и сменных звездочек.

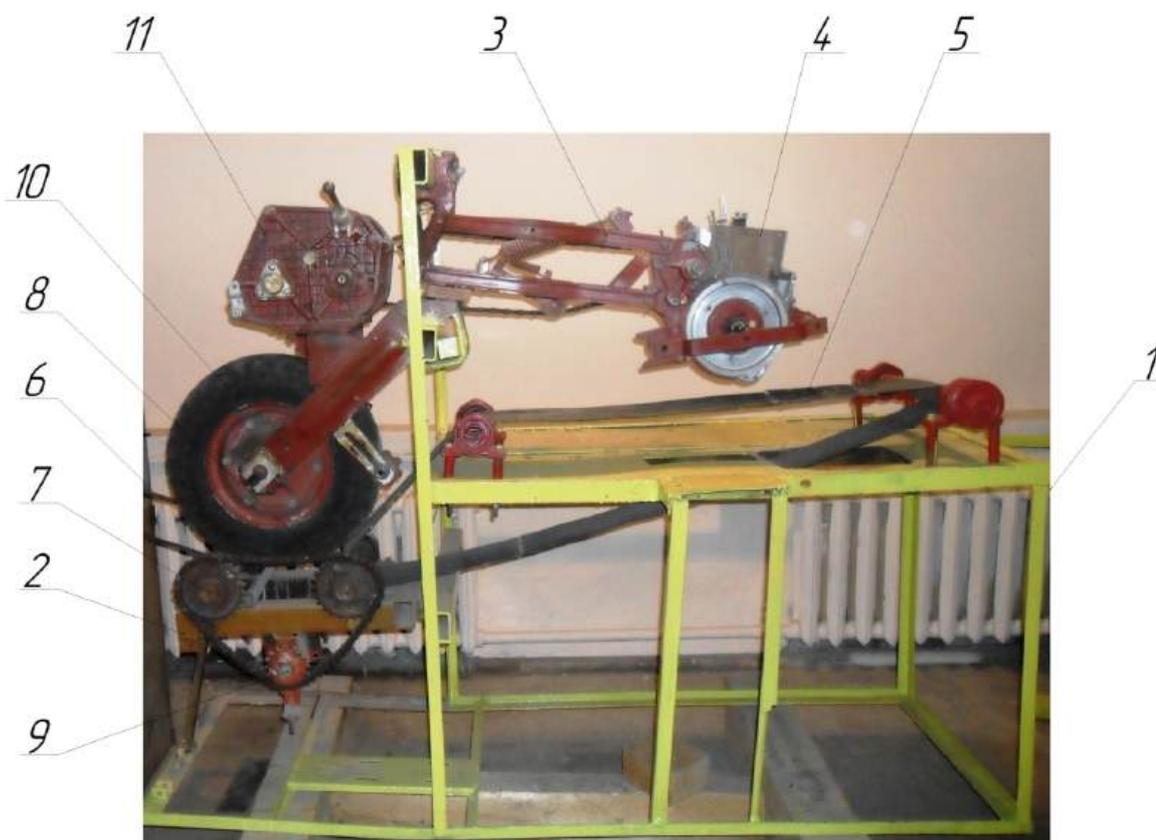


Рис. 1. Стенд для лабораторных исследований равномерности высева семян на липкую ленту:
1 – рама приводной ремень; 2 – опорно-приводной механизм; 3 – высевальная секция; 4 – исследовательское высевальное устройство; 5 – ленточный транспортер; 6 – ременная передача; 7, 8 – приводной вал; 9 – звездочка натяжная; 10 – опорное пневматическое колесо; 11 – редуктор

Ленточный транспортер 5 (рис. 1) приводится в движение от опорно-приводного вала 8. На ленточном транспортере 5 закрепляют липкую ленту, которая позволяет при работе стенда фиксировать семена, подаваемые высевальным устройством в месте их падения на транспортер. Размеры ленточного транспортера стенда позволяют фиксировать результаты высева на участках липкой ленты длиной до 4,5 м. Это позволяет выполнить требования ГОСТ 31345-2007 для оценки исследуемого показателя. Длина зачетного участка ленты должна быть не менее 2,5 м [5].

Исследовательское высевальное устройство (рис. 2) состоит из корпуса-бункера 1, ячеистого высевального диска 6, приспособления для регулировки углов отражателя семян и отражателей 2, 3 и 4, заслонки регулирования хода ячейки диска под слоем семян 5 и выталкивателя, который установлен в нижней части устройства. Устройство монтируется на корпусе высевальной секции свекловичной сеялки ССТ-12Б без штатных деталей (бункер, крышка, семенной диск и выталкиватель).



Рис. 2. Исследовательское высевальное устройство:
1 – корпус-бункер; 2, 3, 4 – отражатели семян; 5 – заслонка изменения пути хода ячейки семенного диска под слоем семян;
6 – высевальный диск

Конструкция устройства (рис. 2) позволяет устанавливать заданное положение отражателей семян и длину пути хода ячейки семенного диска под слоем семян. Механизмы регулирования положения отражателей 2, 3 и 4 позволяют установить их в диапазоне углов от 90 до 15 град. Ход ячейки диска под слоем семян регулируется заслонкой 5 в пределах от 0 до 90 мм. Рабочая поверхность выталкивателя семян выполнена по логарифмической спирали [10].

Количество ячеек семенного диска рассчитывалось из условий соответствия агротехническим требованиям нормы высева.

При работе стенда высевальному диску 6 придается вращение от привода высевальной секции. Семена из корпус-бункера заполняют ячейки высевального диска 6 и перемещаются к одному из отражателей. Семена, не попавшие в ячейки высевального диска, двигаются в активном слое семян в сторону вращения диска до соприкосновения с отражателем, который их выталкивает в емкость корпус-бункера без повреждений. Семена, запавшие в ячейки, перемещаются вращающимся высевальным диском до встречи с выталкивателем, который извлекает их из ячеек и сбрасывает на липкую ленту транспортера 5 (рис. 1).

Высев на стенде осуществляли на липкую ленту (рис. 3). Использовали ленту, клеящуюся армированную универсальную непрозрачную «Зубр» 12075-50-50 и прозрачную «Зубр» 12031-50.



Рис. 3. Распределение семян на участке липкой ленты после высева на стенде

При проведении исследований включали привод стенда и прокручивали в установленном режиме два полных оборота высевального диска и останавливали. Закрепляли на транспортер липкую ленту и снова

запускали стенд до полного оборота ленточного транспортера. Регистрацию частоты вращения высеваящего диска и приводного вала ленточного транспортера проводили тахометром DT6235B с торца вала привода диска и вала привода опорно-пневматического колеса. Останавливали стенд, снимали ленту с транспортера. Проводили измерение интервалов между семенами, высеванными на ленте, результаты заносили в журнал наблюдений. Погрешность измерения интервалов составляла не более +5 мм (ОСТ 10 5.1-2000). Опыты проводили в трехкратной повторности.

Равномерность высева оценивали коэффициентом вариации

$$V = \sigma / l_{cp}, \quad (1)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение среднего расстояния между семенами на зачетном участке липкой ленты мм; l_{cp} – среднее расстояние между семенами на зачетном участке липкой ленты, мм.

Для оценки влияния режимных и конструктивных параметров работы высеваящего устройства на равномерность высева семян амаранта проводили серии опытов. Устанавливали следующие значения факторов, определяющих работу высеваящего устройства: угол отражения семян φ – в диапазоне от 15 до 30 град.; длину хода ячейки высеваящего диска под слоем семян l в диапазоне от 8 до 72 мм. Частоту вращения высеваящего диска n задавали в интервале от 5 до 17 мин⁻¹, что соответствует окружной скорости u на поверхности диска 0,05-1,96 м/с.

Принятые значения частоты вращения высеваящего диска и задаваемая на стенде скорость движения ленты транспортера соответствовали диапазону рабочих скоростей сеялок точного высева [6].

Для определения значимых факторов, определяющих процесс высева семян исследовательским устройством, использовали методику многофакторного планирования экспериментов для реализации эксперимента по плану 2³. На основании результатов предварительных исследований были приняты интервалы и уровни варьирования основных факторов (табл. 1).

Таблица 1

Интервалы и уровни варьирования основных факторов

| Уровни варьирования факторов | Факторы | | | Факторы в кодированном виде | | |
|------------------------------|----------|-----------|------------------|-----------------------------|-------|-------|
| | l , мм | u , м/с | φ , град | X_1 | X_2 | X_3 |
| Верхний | 64 | 0,15 | 25 | +1 | +1 | +1 |
| Нижний | 16 | 0,05 | 15 | -1 | -1 | -1 |
| Основной | 40 | 0,01 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| Интервал варьирования | 24 | 0,05 | 5 | 1 | 1 | 1 |

Результаты обрабатывались по методике, изложенной в работе Л. С. Ушакова и др. [7], а также с использованием программных средств Microsoft Excel, Statistica и MathCAD.

В результате исследований были получены графические зависимости (рис. 4) и уравнения регрессий, характеризующие изменение вариации межсеменных интервалов от исследуемых факторов.

Уравнение регрессии, полученное по результатам многофакторного эксперимента, имеет вид

$$Y = 32,03 - 22 \cdot X_1 + 3,95 \cdot X_2 + 5,48 \cdot X_3 - 1,83 \cdot X_1 \cdot X_2 - 3,04 \cdot X_1 \cdot X_3 + 2,93 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3, \quad (2)$$

и в раскодированном виде:

$$V = -30,61 + 0,82 \cdot l - 530,67 \cdot u + 4,27 \cdot \varphi - 11,29 \cdot l \cdot u - 0,08 \cdot l \cdot \varphi - 19,53 \cdot u \cdot \varphi + \dots \quad (3)$$

$$\dots + 0,49 \cdot l \cdot u \cdot \varphi$$

Анализ коэффициентов уравнения (3) показывает, что наибольшее влияние на равномерность высева оказывают: ход ячейки под слоем семян l , угол наклона отражателя φ . В меньшей степени влияние на равномерность высева оказывает линейная скорость обода высеваящего диска u . Анализ полученных поверхностей отклика показывает, что наименьшая вариация достигается при минимальных значениях угла установки отражателя, частоты вращения высеваящего диска и наибольших значениях длины хода ячейки под слоем семян.

Полученные при высеве на ленту графические зависимости (рис. 4) позволяют анализировать изменение вариации межсеменного интервала в зависимости от исследуемых факторов.

При угле установки отражателя семян 30° (рис. 4а) на всем диапазоне исследуемых частот вращения высеваящего диска и длины хода ячейки под слоем семян вариация межсеменных интервалов выходит за допустимые пределы агрономических требований к устройствам пунктирного посева.

Следует отметить, что для пунктирного посева сеялками точного высева установлены допустимые значения коэффициента вариации по равномерности распределения семян в рядке не более 35% [6], однако для точного посева амаранта метельчатого с интервалом 45-55 мм, в соответствии с агротехническими требованиями, необходимо достижение вариации не более 10-12% [1].

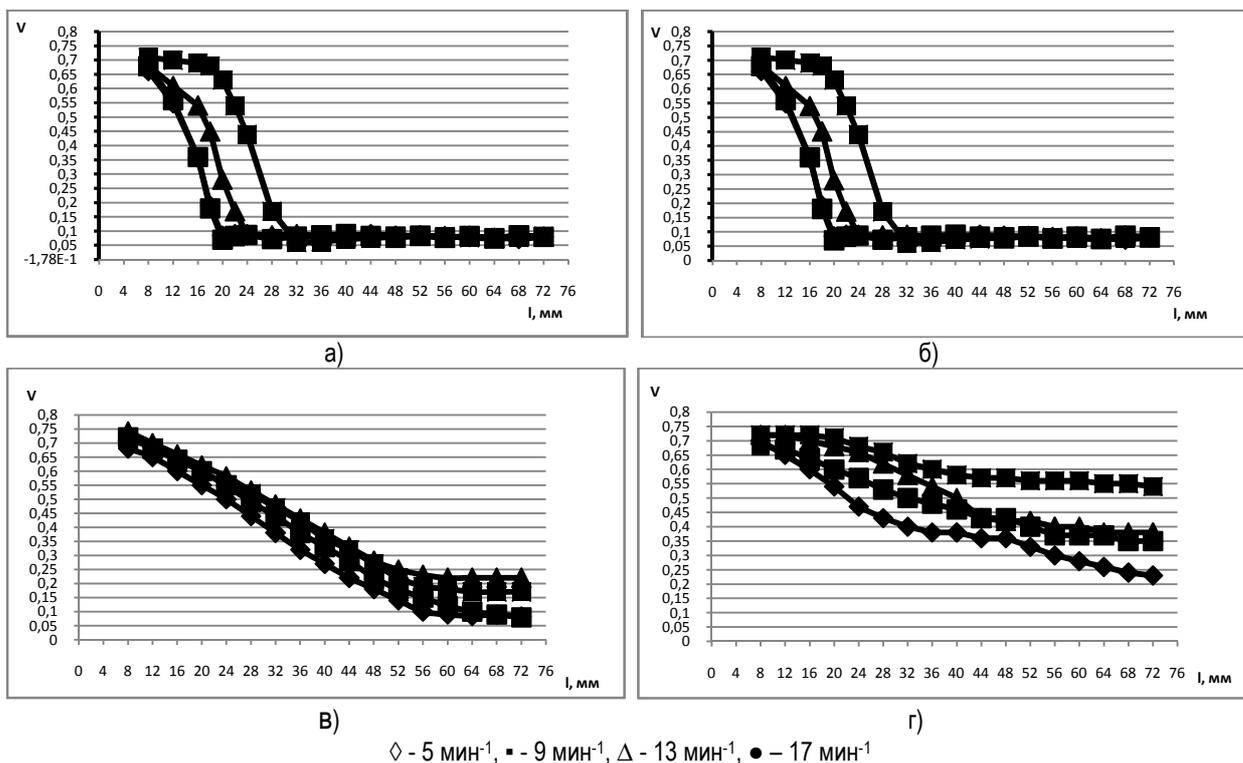


Рис. 4. Изменение вариации V расстояний между семенами продольно в рядке, в зависимости от длины хода ячейки высевающего диска под слоем семян ℓ , частоты вращения диска n и угла установки отражателя:
 а) $\varphi=30^\circ$, б) 25° , в) $\varphi=20^\circ$, г) $\varphi=15^\circ$

Вариация межсеменных интервалов при угле отражателя 25° (рис. 4б) на всех режимах частоты вращения высевающего диска соответствует агрономическим требованиям к устройствам пунктирного посева при длине хода ячейки под слоем семян, начиная с 48 мм. При длине хода ячейки более 68 мм и частоте вращения высевающего диска 5-9 мин⁻¹ достигается вариация 8-9%.

При угле установки отражателя 20° и длине хода ячейки высевающего диска под слоем семян от 38 мм на всех режимах вариация межсеменных интервалов соответствует агрономическим требованиям к устройствам пунктирного посева. Стабилизация вариации на величине 8-9% происходит при открытии заслонки хода ячейки высевающего диска под слоем семян более 56 мм (рис. 4в).

Наилучшая равномерность распределения достигается при угле установки отражателя семян $\varphi = 15^\circ$ (рис. 4г). Вариация межсеменных интервалов при частоте вращения высевающего диска 5 и 9 мин⁻¹ соответствует агрономическим требованиям к устройствам пунктирного посева (менее 35%), при длине хода ячейки, начиная с 16,9 мм, для частоты вращения высевающего диска 17 мин⁻¹ вариация снижается до значения 8-10%, при длине хода ячейки более 32 мм, для частот 5 и 9 мин⁻¹ вариация соответствует значениям 8-10%, начиная с 20 мм, что позволяет выполнить требования по равномерному посеву амаранта и обеспечить, тем самым необходимую зону питания растений.

В результате обработки результатов исследований и анализа полученных зависимостей установлены конструктивные параметры высевающего устройства, позволяющие обеспечить распределение семян амаранта метельчатого при высеве на липкую ленту с вариацией межсеменных интервалов, не превышающей 8-10%.

Для равномерного и точного высева при скорости посевного агрегата 1,12 м/с длина хода ячейки высевающего устройства под слоем семян должна составлять более 34,5 мм, при постановке угла отражателя семян 15° . Это позволит выполнить агротехнические требования по равномерности распределения семян в рядке при посеве амаранта, что является основой для получения высокой урожайности.

Библиографический список

1. Казарин, В. Ф. Амарант – высокопластичная культура // Агро-Информ. – 2012. – №7. – С.18-20.
2. Мельников, Г. В. Разработка устройства точного высева амаранта метельчатого для реализации современных технологий кормопроизводства / Г. В. Мельников, И. Ю. Галенко, Е. И. Артамонов // Самарская областная молодежная научно-техническая конференция, посвященная 70 лет СГАУ : мат. докл. конкурса УМНИК. – Самара, 2012. – С. 157-159.

3. Пат. 61981 Российская Федерация. Высевающее устройство / Артамонов Е. И. – №2006139918/22 ; заявл. 10.11.2006 ; опубл. 27.03.2007, Бюл. № 9. – 1 с.: ил.
4. Пат. 2347349 Российская Федерация. Высевающее устройство / Артамонов Е. И., Гниломедов В. П. – №2006139884 ; заявл. 10.11.2006 ; опубл. 27.02.2009, Бюл. №6. – 3 с.: ил.
5. ГОСТ 31345-2007. Сеялки тракторные Методы испытаний. – Введ. 2009–01–01. – М. : Стандарт информ, 2007. – 54 с.
6. Чичкин, В. П. Овощные сеялки и комбинированные агрегаты. Теория, конструкция, расчет / Молдавский НИИ орошаемого земледелия и овощеводства. – Штинница : Кишинев, 1984. – 392 с.
7. Ушаков, Л. С. Активный факторный эксперимент. Математическое планирование, организация и статистический анализ результатов: учебное пособие / С. А. Рябчук, Ю. Е. Котылев, Л. С. Ушаков. – Орел : ОрелГТУ, 2002. – 38 с.
8. Артамонов, Е. И. Амарант на полях Самарской области и проблемы его возделывания / Е. И. Артамонов, И. Ю. Галенко // Проблемы эксплуатации и ремонта автотракторной техники : мат. Международной науч.-практ. конф., посвященной 100-летию со дня рождения Геннадия Пракофьевича Шаронова. – Саратов, 2012. – С. 21-27
9. Гниломедов, В. П. Исследование равномерности высева амаранта метельчатого при изменении скорости движения комбинированного агрегата / В. П. Гниломедов, Е. И. Артамонов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – Самара, 2006. – Вып. 3. – С. 83-85
10. Артамонов, Е. И. Теоретическое обоснование параметров вытравливателя семян ячеисто-дискового высевающего аппарата / Е. И. Артамонов, О. А. Артамонова // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения : мат. IV Международной научно-практической конференции. – Ульяновск : УГСХА им. П. А. Столыпина, 2012. – Т. 2. – С. 24-29

УДК 631.352.99

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА БОТВОУДАЛЯЮЩЕЙ МАШИНЫ

Фролов Дмитрий Иванович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная технологическая академия».

440007, г. Пенза, ул. Антонова д. 7.

Тел.: 8 (8412) 69-93-10.

Курочкин Анатолий Алексеевич, д-р техн. наук, проф. кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная технологическая академия».

440605, г. Пенза, пр. Байдукова, ул. Гагарина, д.1а /11.

Тел.: 8 (841-2) 49-56-99.

Шабурова Галина Васильевна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная технологическая академия».

440605, г. Пенза, пр. Байдукова, ул. Гагарина, д.1а /11.

Тел.: 8 (841-2) 49-56-99.

Ключевые слова: ботвоудаляющая, машина, листостебельная, масса, ботва, лук.

Приводится теоретическое исследование рабочего процесса ботвоудаляющего рабочего органа. Рассмотрен общий характер работы и обоснование оптимальных параметров ротационного рабочего органа.

Наибольшее применение на уборке лука (севка и репки) находят лукоборочные машины теребильного типа, позволяющие снизить содержание почвенных примесей в уложенном валке до 6% [1]. Качественная работа лукоборочных машин теребильного типа обеспечивается лишь при надлежащей подготовке поля перед уборкой. Для решения этой проблемы разработана машина для удаления листостебельной массы перед уборкой лука.

Цель исследования – повышение качества работы ботвоудаляющей машины.

Задачей исследования являлось определение оптимальных значений конструктивных и режимных параметров ротационного рабочего органа.

Ботвоудаляющая машина, разработанная в Пензенской ГСХА и ООО «КЗТМ» г. Кузнецк, предназначена для удаления листостебельной массы перед уборкой лука, что сокращает сроки его уборки, увеличивает производительность выкапывающих и подбирающих машин, сокращает затраты на послеуборочную сушку, улучшает лежкость при хранении [2, 3].

Ботвоудаляющая машина (рис. 1) состоит из рамы 1 с устройством для присоединения к трактору 2, опорно-копирующих колес 3, установленных на стойках 4 с механизмом механического регулирования высоты скашивания 5, редуктора 6 и рабочих органов, состоящих из валов 7 и встречно вращающихся ножей 8, закрытых кожухом 9. Привод осуществляется от ВОМ трактора посредством механизма привода, редуктора 6 и ременных передач [4].

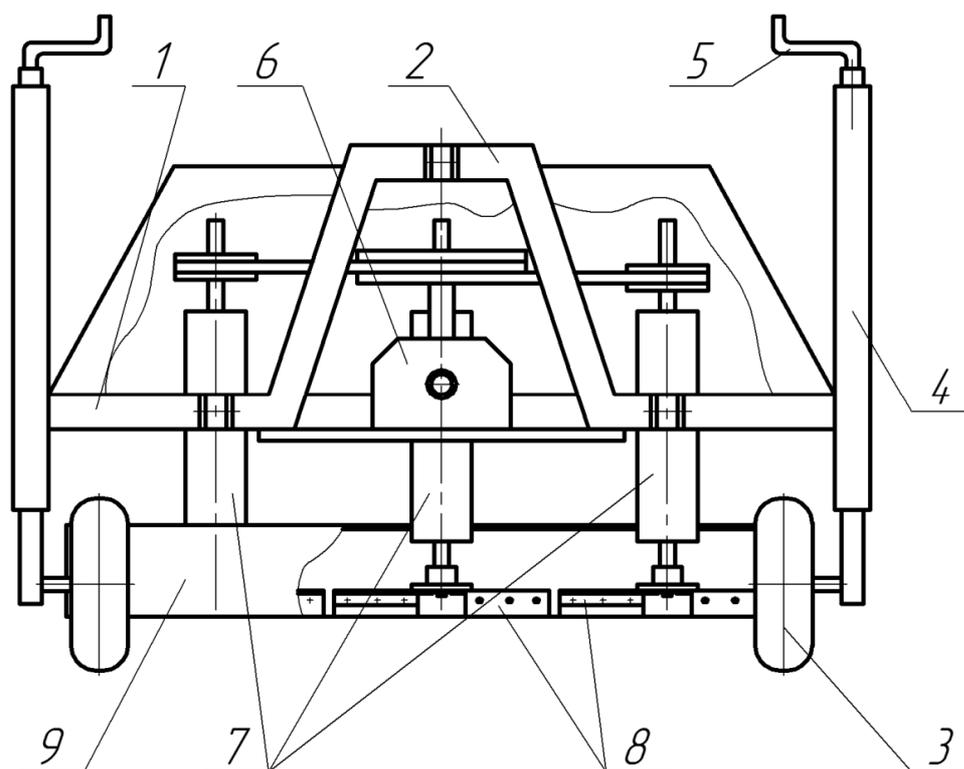


Рис. 1. Схема ботвоудаляющей машины:

1 – рама; 2 – устройство для присоединения к трактору; 3 – опорно-копирующие колеса; 4 – стойка; 5 – механизм механического регулирования высоты скашивания; 6 – редуктор; 7 – валы; 8 – ножи; 9 – кожух

Процесс удаления листостебельной массы происходит следующим образом. При движении машины по полю опорные колеса копируют его рельеф, а за счёт механического регулирования высоты скашивания обеспечивается заданная высота удаления ботвы лука и сорных растений.

При вращении ротационных рабочих органов внутри кожуха 9 создается воздушный поток, поднимающий ботву лука и сорные растения и подводящий их в зону резания, где происходит срез, измельчение и отвод через ботвоотводящее окно на междурядье.

Ботвоудаляющая машина содержит три ротационных рабочих органа, закрытых сверху кожухом 9, имеющим ботвоотводящее окно (рис. 1). Каждый рабочий орган выполнен из попарно расположенных ножей 8, установленных на валу 7 [5, 6].

Ввиду того, что валы находятся в вертикальной плоскости и расположены под углом $50^\circ \dots 60^\circ$ к продольной оси рамы, а средний вал установлен в точке пересечения вертикальной плоскости и оси рамы, происходит перекрытие зон резания рабочих органов, что способствует полному удалению листостебельной массы по всей ширине грядки [7].

Для того чтобы обеспечить полное удаление листостебельной массы, в том числе полегшей и изломанной ботвы лука и сорных растений нужно обеспечить подъемную силу, создаваемую вращением ротационного рабочего органа, чтобы ботва лука и сорных растений поднялась и при этом срезалась [8].

Ротационный рабочий орган представляет собой осевой вентилятор с лопастями, которые к тому же являются ножами, срезающими листостебельную массу (рис. 2).

Передача энергии потоку воздуха в рабочем органе происходит при помощи ножей, закрепленных на валу. Рабочий орган перемещает воздух вдоль оси вала, при этом закручивая воздушный поток.

Для рассмотрения работы данного рабочего органа используем теорию решетки профилей. Рассекая рабочий орган цилиндрической поверхностью радиусом r и развертывая эту поверхность с сечениями ножей, получаем плоскую решетку профилей рабочего органа.

Основные величины, характеризующие геометрию решетки, следующие: B – ширина решетки; b – длина хорды сечения ножей; β_{1E} , β_{2E} – лопастные углы на входе и выходе; β_∞ – угол установки ножа, угол между хордой ножа и осью решетки.

Для упрощения расчетов аэродинамических сил, действующих на листостебельную массу, произведем расчет одного ротационного рабочего органа.

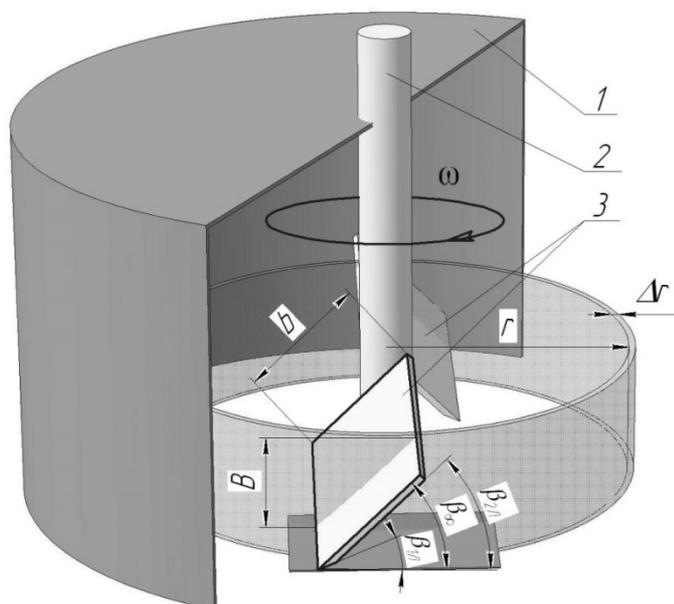


Рис. 2. Схема рабочего органа:
1 – кожух; 2 – вал; 3 – ножи

При вращении ротационного рабочего органа под ним создается разрежение и поток воздуха, который поднимает ботву лука и сорные растения. Силовое взаимодействие потока воздуха с растениями сводится к одной силе лобового сопротивления, при этом сила совпадает с направлением течения воздуха. Совместно с разрежением, создаваемым ротационным рабочим органом, через щель между кожухом и землей всасывается воздух, образуя неравномерное поле скоростей в набегающем потоке воздуха, при этом на ботву лука и сорные растения начинает действовать подъемная сила и аэродинамический момент, которые способствуют поднятию растений и подводу их в зону резания ножей (рис. 3).

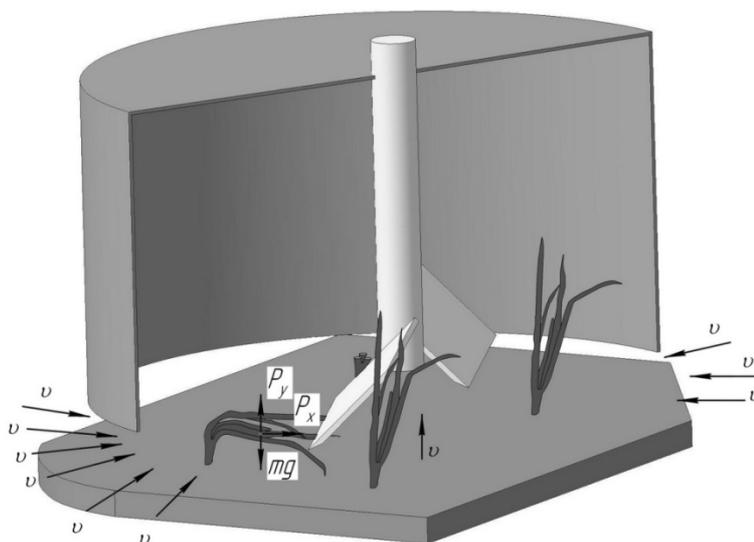


Рис. 3. Схема сил, действующих на листовостебельную массу

Элементы ножей, находящиеся на различных расстояниях от вала, вращаются с неодинаковыми скоростями. Вследствие этого ножи с постоянной шириной и углом наклона создают разрежение, изменяющееся по длине ножей. Это приводит к радиальным перемещениям воздуха и срезанной ботвы лука и сорных растений в проточной полости ножей, что способствует измельчению и отводу ботвы лука и сорных растений к ботвоотводящему окну и укладки ее на междурядье.

Для поднятия листовостебельной массы скорость воздуха должна быть больше скорости витания и трогания. С помощью законов аэродинамики определим зависимости для этих двух скоростей. Для упрощения расчетов рассмотрим подъем листьев одного растения.

Вначале установим зависимость для скорости витания. Пусть на листья лука весом mg набегают поток воздуха, двигающийся снизу вверх с такой скоростью v_e , что листья лука не поднимаются и не опускаются, а находятся на одном и том же уровне, как бы, зависая в воздухе. Скорость, при которой это происходит, называется скоростью витания [10].

Очевидно, эта скорость определяется при условии, что подъемная сила равна весу листьев лука

$$P_y = c_y F \frac{\rho v_b^2}{2} = mg, \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; c_y – коэффициент подъемной силы; m – масса листьев лука, кг; v_b – скорость витания, м/с; F – площадь лобового сопротивления листьев лука, м²; ρ – плотность воздуха, кг/м³.

Из уравнения (1) выведем скорость витания:

$$v_b = \sqrt{\frac{2mg}{\rho c_y F}}. \quad (2)$$

Для подъема листьев лука скорость воздуха v должна быть больше скорости витания v_e : $v > v_e$. Для упрощения примем аэродинамический момент равным нулю. Листья лука в данном случае будут подниматься вверх со скоростью v_T , определяемой уравнением

$$P_y - mg = c_y F \frac{\rho(v - v_T)^2}{2} - mg = m \frac{dv_T}{dt}. \quad (3)$$

Для вычисления минимальной частоты вращения ротационного рабочего органа, необходимой для создания потока воздуха, который обеспечит подъем листьев лука со скоростью v_e , рассмотрим следующее уравнение:

$$c_a = \frac{Q}{0,785d^2(1-v^2)} = k_\phi v u = k_\phi v \frac{\pi d n}{60}, \quad (4)$$

где c_a – осевая скорость воздуха, создаваемая рабочим органом, м/с; Q – подача рабочего органа, м³/с; d – диаметр рабочего органа, м; v – относительный диаметр вала, принимают 0,4-0,8; k_ϕ – коэффициент расхода, принимают 0,6-1; u – окружная скорость, м/с; n – частота вращения рабочего органа, с⁻¹.

Таким образом, частоту вращения рабочего органа, необходимую для создания потока воздуха со скоростью $c_a \geq v_e$, найдём из выражения

$$n \geq 60 \frac{c_a}{\pi k_\phi v d}. \quad (5)$$

После подсчёта оптимальная частота вращения, обеспечивающая подъем листостебельной массы и её срез, находится в пределах 1500-1900 мин⁻¹, для рабочего органа с радиусом траектории вращения ножей 0,25 м.

Для подтверждения теоретических расчетов были проведены лабораторные испытания с целью нахождения оптимальных конструктивных и режимных параметров ротационного рабочего органа. Испытания проводились на установке, смонтированной на почвенном канале. В ходе опытов были определены основные факторы, влияющие на технологический процесс удаления листостебельной массы и их возможные пределы варьирования, качественные показатели (полнота удаления ботвы, повреждения луковиц).

При обработке результатов лабораторных исследований использовалась методика планирования многофакторного эксперимента.

Для получения математической модели процесса удаления листостебельной массы, учитывающей совокупное влияние изучаемых факторов на эффективную работу ботвоудаляющего устройства, и определения их оптимального сочетания, было использовано оптимальное планирование эксперимента. При планировании эксперимента для предлагаемого ботвоудаляющего устройства в качестве критерия оптимизации была принята полнота удаления, которая наиболее полно оценивает качество работы ботвоудаляющего рабочего органа. В качестве факторов, влияющих на полноту удаления листостебельной массы, на исследуемом ботвоудаляющем устройстве были выбраны три наиболее значимых фактора: частота вращения рабочего органа, высота установки рабочего органа относительно поверхности поля, угол установки ножей.

После изучения двумерного сечения поверхности отклика (рис. 4) в зоне оптимальных значений факторов были определены оптимальные значения конструктивно-кинематических параметров ботвоудаляющего устройства: частота вращения рабочего органа $n = 1480-1820 \text{ мин}^{-1}$, угол установки ножей $\beta = 51-61 \text{ град}$. при параметре оптимизации равном 97,5-97,75% [9].

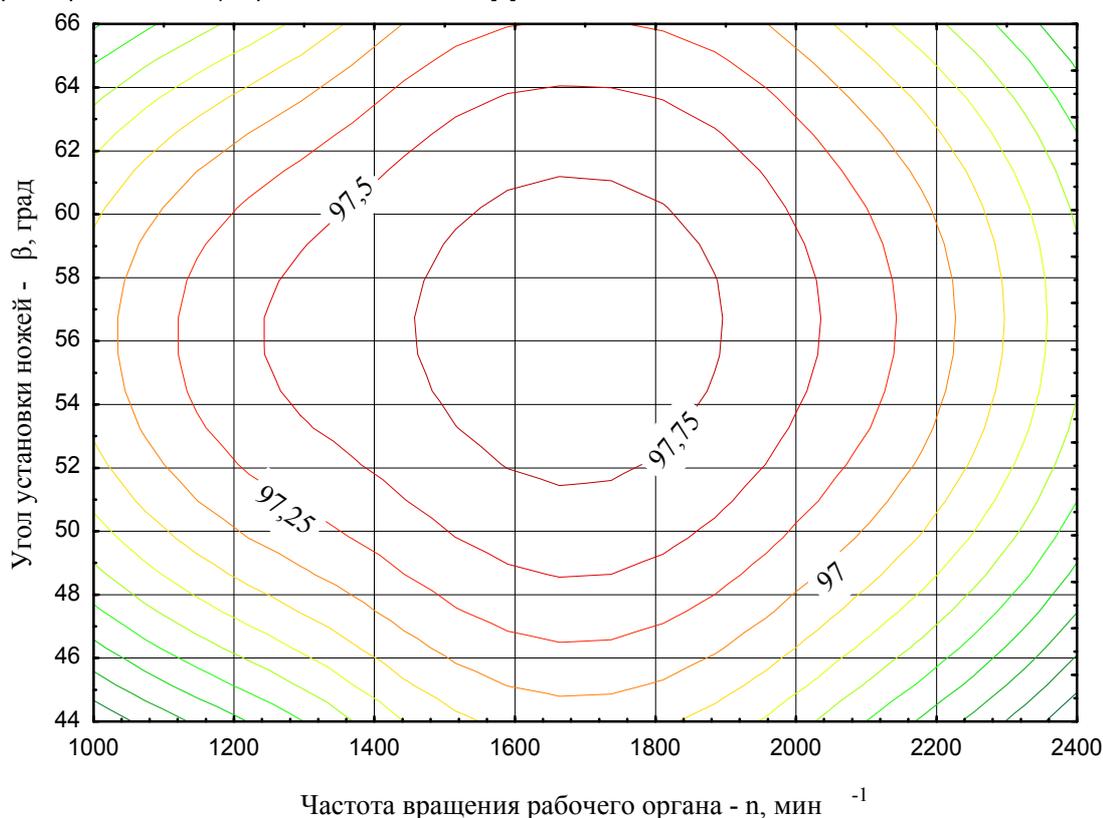


Рис. 4. Двумерное сечение, характеризующее зависимость полноты удаления листостебельной массы от угла установки ножей и частоты вращения рабочего органа

В результате теоретических исследований процесса работы рабочего органа ботвоудаляющей машины обоснованы оптимальные значения конструктивных и режимных параметров ротационного рабочего органа. Значения, полученные при лабораторных исследованиях, полностью подтверждают зависимости, выявленные теоретическим исследованием.

Библиографический список

1. Ларюшин, А. М. Совершенствование технологии уборки лука / А. М. Ларюшин, Н. П. Ларюшин, Д. И. Фролов // Труды Международного форума по проблемам науки, техники и образования. – М. : Академия наук о Земле, 2007. – С. 17-18.
2. Ларюшин, Н. П. Комплекс машин для уборки лука / Н. П. Ларюшин, А. М. Ларюшин, С. Г. Пох // Картофель и овощи. – 2008. – №4. – С. 15.
3. Ларюшин, Н. П. Уборка без задержек / Н. П. Ларюшин, А. М. Ларюшин, Д. И. Фролов // Сельский механизатор. – 2007. – №7. – С. 48-49.
4. Фролов, Д. И. Разработка обрезчика ботвы лука и сорных растений с обоснованием конструктивных и режимных параметров : автореф. дис. ...канд. техн. наук : 05.20.01 / Фролов Дмитрий Иванович. – Пенза, 2008. – 18 с.
5. Фролов, Д. И. Разработка обрезчика ботвы лука и сорных растений с обоснованием конструктивных и режимных параметров: дис. ...канд. техн. наук : 05.20.01 / Фролов Дмитрий Иванович. – Пенза, 2008. – 153 с.
6. Ларюшин, Н. П. Оптимальные параметры ботвоудаляющего рабочего органа обрезчика листостебельной массы / Н. П. Ларюшин, А. М. Ларюшин, Д. И. Фролов // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – №2. – С. 15-17.
7. Пат. 2339208 Российская Федерация, МПК А 01 D 23/02. Ботвоудаляющая машина / Н. П. Ларюшин, С.А. Суцёв, Д.И. Фролов, А.М. Ларюшин. – № 2007109990/12 ; заявл. 19.03.2007 ; опубл. 27.11.2008, Бюл. №33. – 8 с. : ил.
8. Ларюшин, А. М. Энергосберегающие технологии и технические средства для уборки лука : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Ларюшин Андрей Михайлович. – Пенза, 2009. – 38 с.
9. Ларюшин, Н. П. Обоснование конструктивно-режимных параметров ботвоудаляющего устройства при лабораторных исследованиях / Н. П. Ларюшин, А. М. Ларюшин, Д. И. Фролов // Нива Поволжья. – 2008. – №2 (7). – С. 46-51.
10. Байкин, С. В. Технологическое оборудование для переработки продукции растениеводства / С. В. Байкин, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, А. С. Афанасьева ; под ред. А. А. Курочкина. – М. : КолосС, 2007. – 445 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИКАТЫВАЮЩЕГО БОРОЗДООБРАЗУЮЩЕГО КОЛЕСА НА РАВНОМЕРНОСТЬ ГЛУБИНЫ ЗАДЕЛКИ ПОСЕВНОГО МАТЕРИАЛА

Косолапов Владимир Викторович, ст. преподаватель кафедры «Механика и сельскохозяйственные машины» ГБОУ ВПО «Нижегородский государственный инженерно-экономический институт».

606340, Нижегородская область, г. Княгинино, ул. Октябрьская, д. 22.

Тел.: 8(910) 134-18-98.

Ключевые слова: борозда, глубина, качество, колесо, эксперимент.

В статье описываются экспериментальные исследования геометрии бороздообразующего колеса для обеспечения минимально возможных вертикальных перемещений и обеспечение точного размещения посевного материала.

В результате теоретических исследований были получены закономерности и расчетные уравнения для определения оптимальных геометрических параметров прикатывающего бороздообразующего колеса, а также физико-механические свойства и условия его работы [6].

Цель исследования – определение влияния профиля бороздообразователя прикатывающего бороздообразующего колеса на повышение равномерности распределения посевного материала по глубине.

Задачи исследования – создание экспериментального образца и проведение лабораторных испытаний.

Определение влияния профиля бороздообразователя на его равномерность хода. Для изучения характера и формы профиля борозды после прохода рабочих органов производились замеры следующих показателей: ширина базовой поверхности B , м; ширина борозды b , м; глубина борозды h , м; глубина заделки семян H , м (рис. 1).

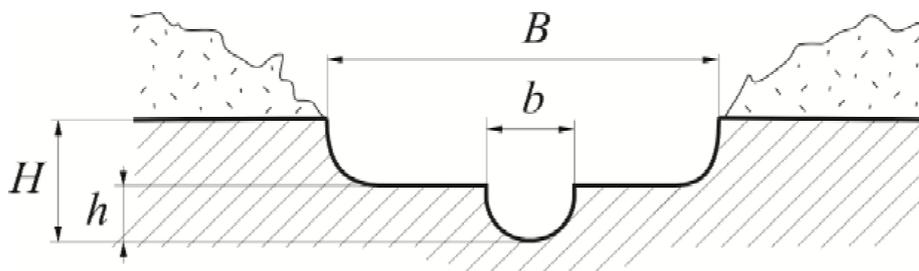


Рис. 1. Профиль борозды и параметры замера

В ходе проведения лабораторных исследований параметром оптимизации принято качество образования бороздки и как следствие качество посевного ложа. Факторами, отвечающими за этот показатель, являлись: усилие сжатия пружины бороздообразующего колеса, степень очистки бороздки от частиц почвы и равномерность хода сошниковой группы.

Согласно теоретическим расчетам, для смятия почвы необходимо и достаточно колесо с бороздообразователем U-образной формы шириной 8 мм и глубиной 10 мм, что позволит семечку не отскакивать от дна борозды. Реборды, в свою очередь, позволят избежать излишнего заглубления колеса в почву [6].

Однако установлено, что с ростом скорости, при одинаковом значении натяжения пружины, происходит отклонение от заданной глубины посева, что связано с увеличением реактивной силы $R_{\text{БК}}$ со стороны почвы [5]. В виде того, что в ходе работы будущего агрегата невозможно постоянное изменение натяжения пружины, необходимо уточнить значения профиля бороздообразователя с целью избежания возможного выглубления колеса.

С этой целью по теоретическим расчетам были изготовлены два бороздообразующих колеса: с U-образным и коническим V-образным профилем бороздообразователя.

Качество выполнения заданных требований, формирования посевного ложа и создания необходимой структуры почвы, при помощи предлагаемой сошниковой группы, проверялись в лабораторных условиях в почвенном канале Волгоградского государственного сельскохозяйственного университета на кафедре сельскохозяйственных машин (рис. 2) [4, 7].



Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки и измерительного оборудования:
1 – посевная секция; 2 – датчик; 3 – АКБ; 4 – ПК; 5 – измерительный модуль E-440

При работе сошника происходит вертикальное перемещение бороздообразователя, что, в свою очередь, влияет на равномерность глубины бороздки. Бороздообразующее колесо посредством крепёжной планки крепится к стрелчатой лапе и имеет плечо, к которому крепится пружина натяжения [3]. Для замера продольных перемещений применяли методику, предложенную А. В. Беляковым [1, с. 101], для чего в месте фиксации пружины был закреплён тросик датчика. При поднятии бороздообразующего колеса происходит натяжение тросика, который проворачивает диск, закрепленный на датчике потенциометрического типа. Датчик устанавливается на ухо крепления стрелчатой лапы. Вращение оси датчика приводит к изменению сопротивления (рис. 3). Эти изменения считываются и фиксируются измерительным модулем E-440 и в виде сигнала передаются на персональный компьютер (ПК).



Рис. 3. Общий вид и схема крепления датчика:
1 – планка крепления бороздообразующего колеса и фиксирования тросика датчика; 2 – стрелчатая лапа; 3 – тросик датчика; 4 – датчик

При определении параметров достоверность полученных результатов принята равной 90%. Вероятность ошибки датчика – 3%. Измерительная система установлена на передвижной тележке, что позволяет обеспечить длину записи каждого параметра от момента старта, до полной остановки. Величина амплитуды вертикальных отклонений определялась исходя из агротехнических требований на посев. Выход за пределы данных интервалов примем в качестве сигналов снижения качества посева.

Сошник устанавливается на глубину заделки семян. Датчик выставлялся на нулевую отметку согласно тарировочной карте. Устанавливалось принятое натяжение пружины бороздообразователя. Движение тележки осуществлялось на трех скоростных режимах в 3-х кратной повторности [2]. Исследовались 2 типа бороздообразователя с V- и U-образной формой профиля.

Величина амплитуды колебания определялась согласно третьему подобию треугольников ABC и A_1B_1C (рис. 4):

$$h_2 = \frac{l_2 \cdot h_1}{l_1}, \quad (1)$$

где h_1 – величина натяжения тросика, мм; h_2 – величина вертикального перемещения бороздообразователя, мм; l_1 – расстояние от точки крепления тросика датчика до точки крепления планки бороздообразовательного колеса, мм; l_2 – расстояние от оси вала бороздообразователя до точки крепления планки бороздообразовательного колеса, мм.

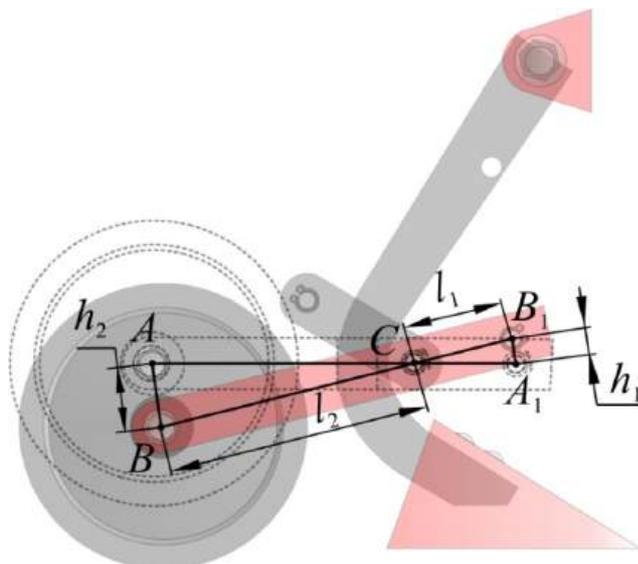


Рис. 4. Схема перемещения прикатывающего бороздообразующего колеса

Далее проводилось определение влияния формы бороздообразователя на качество его заглабления путём замера вертикальных перемещений бороздообразующего колеса со скругленной и конической частью. Замеры снимались при min и max значениях принятого скоростного режима, при глубине заделки 50 мм.

Как видно из графиков (рис. 5) при движении на значительных скоростях U-образный профиль борозды не позволяет обеспечить достаточную стабильность заглабления, при этом наблюдаются частые «выбросы» значений кривой за пределы нормативных (отклонение от средней на ± 5 мм). При этом V-образный профиль позволяет получить большую равномерность образования бороздки.

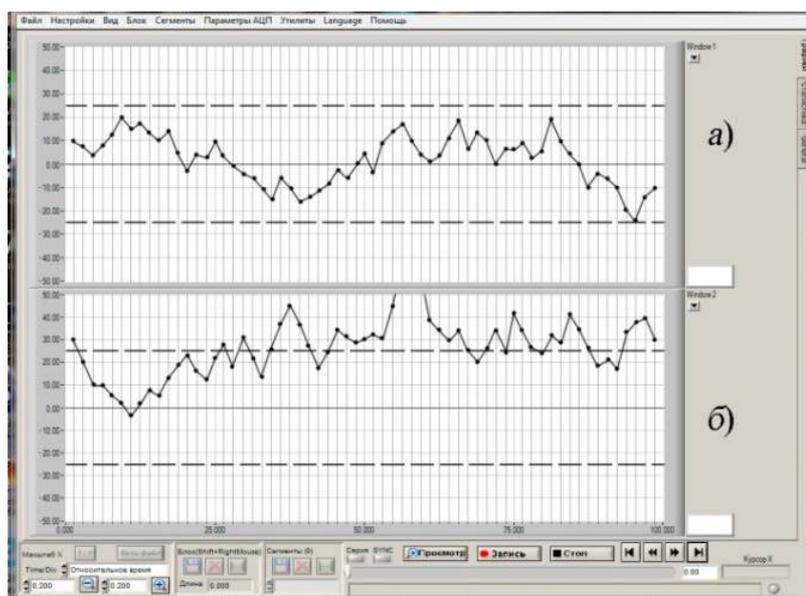


Рис. 5. Графики вертикальных перемещений прикатывающего бороздообразующего колеса при продольном движении на скорости 3,33 м/с:

а) V-образный профиль; б) U-образный профиль

В результате обработки результатов замера были построены графики зависимости среднеквадратического отклонения вертикальных перемещений от скорости движения исследуемой секции (рис. 6), из которых видно, что с увеличением скорости происходит увеличение среднеквадратического отклонения с 0,36 до 0,74 см у бороздообразователя с V-образной формой и с 0,47 до 1,15 см – у бороздообразователя с U-образным профилем. Из графических зависимостей (рис. 6-8) видно, что равномерность хода бороздообразователя с V-образным профилем на 23-35% выше, чем у бороздообразователя с U-образным профилем.

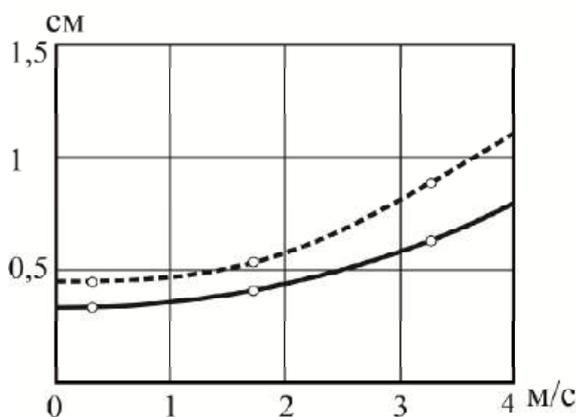


Рис. 6. Зависимость отклонения вертикальных перемещений прикатывающего бороздообразующего колеса от скорости перемещения исследуемой секции

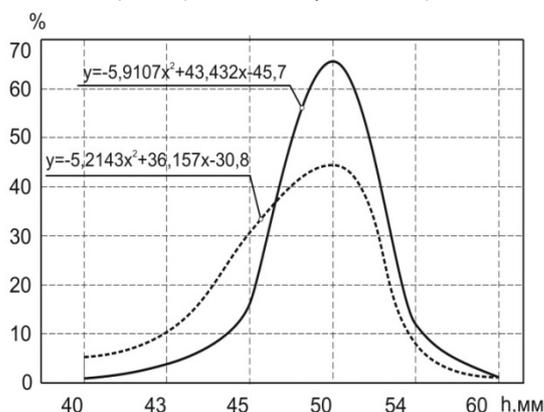


Рис. 7. Зависимость равномерности глубины заделки прикатывающего бороздообразующего колеса с U-образной (—) и V-образной (---) формой бороздообразователя при рабочей скорости 3,33 м/с

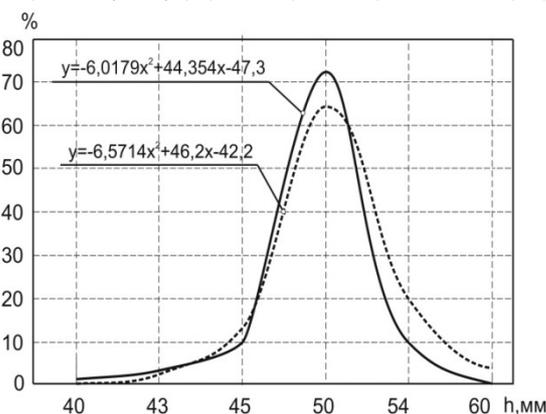


Рис. 8. Зависимость равномерности глубины заделки прикатывающего бороздообразующего колеса с U-образной (—) и V-образной (---) формой бороздообразователя при рабочей скорости 0,33 м/с

В результате проведения сравнительных испытаний прикатывающего бороздообразующего колеса для дальнейших исследований необходимо принять бороздообразователь с V-образным профилем, так как он позволяет обеспечить более равномерное распределение посевного материала по глубине, по сравнению с U-образным профилем, что позволит снизить вероятность нарушения агротехнических требований на проведение посева.

Библиографический список

1. Беляков, А. В. Совершенствование технологии посева семян бахчевых с модернизацией полозовидного сошника : дис. ... канд. тех. наук : 05.20.01 / Андрей Владимирович Беляков. – Волгоград, 2007. – 168 с.
2. Гуреев, И. И. Совершенствование технологии возделывания сахарной свеклы в Центрально-Чернозёмной зоне / И. И. Гуреев, В. И. Домников. – Курск, 1991. – 76 с.
3. Косолапов, В. В. Модернизированный сошниковый механизм для совершенствования технологического процесса формирования посевного ложа // Вестник НГИЭИ. – 2011. – Т.2, №2. – С. 112-122.
4. Косолапов, В. В. Обоснование геометрических параметров сошниковой группы для посева сахарной свеклы / В. В. Косолапов, А. Н. Скороходов // Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем : сб. докл. XII Международной науч.-техн. конф. (10-12 сент. 2012 г.; Углич). – М. : Известия, 2012. – Ч. 1. – С. 515-520.
5. Косолапов, В. В. Теоретические исследования системы сил действующих на посевную секцию с модернизированной сошниковой группой для посева пропашных культур / В. В. Косолапов, А. Н. Скороходов // Социально-экономические проблемы развития муниципальных образований : мат. XVII Международной науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых. – Княгинино : НГИЭИ, 2013. – С.154-161.
6. Косолапов, В. В. Выбор и обоснование геометрических параметров прикатывающего бороздообразующего колеса / В. В. Косолапов, А. Н. Скороходов // Вестник НГИЭИ. – 2013. – №4 (24). – С. 72-85.
7. Косолапов, В. В. Прогрессивная технология посева пропашных культур и агрегат для её осуществления // Формирование конкурентоспособной экономики: теоретические, методические и практические аспекты : мат. Международной науч.-практ. интернет-конф. (26-27 апреля 2012 г.). – Тернополь : Крок, 2012. – Ч.1. – 23-26 с.

УДК 621.793

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА ТРОИЦКОГО НА ДИФфуЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ДЕФОРМИРУЕМЫХ МЕТАЛЛАХ ПРИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОМ ПРИПЕКАНИИ

Миронов Владимир Михайлович, д-р ф.-м. наук, проф., зав. кафедрой «Физика» ФГБОУ ВПО Самарская государственная сельскохозяйственная академия.

446442, Россия, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

Тел.: 8 (846-63) 46-3-46.

Миронов Денис Владимирович, канд. ф.-м. наук, доцент, зав. кафедрой «Математические методы и информационные технологии» ФГБОУ ВПО Самарская государственная сельскохозяйственная академия.

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

Тел.: 8 (846-63) 46-3-46.

Мазанко Владимир Федорович, д-р техн. наук, зав. отделом «Нестационарный массоперенос» НАН Украины «Институт металлофизики им. Г. В. Курдюмова».

03680, Украина, ГСП Киев, бульвар академика Вернадского, 36.

Тел.: 8(380-44) 424-05-31.

Герцикен Дина Соломоновна, канд. ф.-м. наук, ст. научный сотрудник отдела «Нестационарный массоперенос» НАН Украины «Институт металлофизики им. Г. В. Курдюмова».

03680, Украина, ГСП Киев, бульвар академика Вернадского, 36.

Тел.: 8(380-44) 424-05-31.

Лопата Лариса Анатольевна, канд. техн. наук, доцент института воздушного транспорта «Национальный авиационный университет».

03058, Украина, г. Киев, пр-т Космонавта Комарова, 1.

Тел.: 8(380-44) 424-05-31.

Бевз Виталий Петрович, канд. ф.-м. наук, ст. научный сотрудник отдела «Нестационарный массоперенос» НАН Украины «Институт металлофизики им. Г. В. Курдюмова».

03680, Украина, ГСП Киев, бульвар академика Вернадского, 36.

Тел.: 8(380-44) 424-05-31.

Ключевые слова: импульс, ток, электроконтакт, припекание, деформация.

В работе установлено, что при реализации эффекта Троицкого в условиях наложения импульса тока на образцы из железа, никеля и стали, испытывающие импульсное или статическое деформирование, при комнатной и повышенных температурах в течение 40-200 мс происходит миграция атомов на глубину от 10 до 50 мкм в зависимости от скорости и степени деформации, температуры, энергии деформирующего импульса, вида проникающего атома и матрицы. Предложена модель эффекта Троицкого, основанная на экспериментальных результатах.

Одновременное действие статической, квазистатической или импульсной пластической деформации и импульсов электрического тока (электромагнитного поля), приводящее к проявлению электропластического эффекта (эффекта Троицкого) на протяжении ряда лет используется при различных видах

химико-термической обработки. К ним относятся электроконтактное припекание, конденсаторная сварка-пайка, сжатие и растяжение в импульсных электромагнитных полях и др.

Целью исследования – выявление особенностей протекания диффузионных процессов в металлах при электроконтактном пропекании. Исходя из поставленной цели, в *задачи исследований* входило:

- изучить влияние параметров электроконтактного припекания на диффузионные характеристики и определить роль этих факторов;
- определить механизм влияния электропластического эффекта в формировании структуры и свойств обрабатываемых материалов.

Исследования проводили на образцах из железа, никеля и стали, испытывающих импульсное или статическое деформирование, в условиях наложения импульса тока при комнатной и повышенных температурах. Электроконтактное припекание (рис. 1) осуществляли под давлением при прямом пропускании электрического тока [1]. Оно характеризуется силой тока до 8-30 кА, вторичным напряжением 1-6 В, давлением до 100 МПа, временем импульса 0,04-0,2 с, временем паузы 0,04-0,2 с, высокими скоростями нагрева, которые могут достигать 10^3 - 10^4 К/с [11].

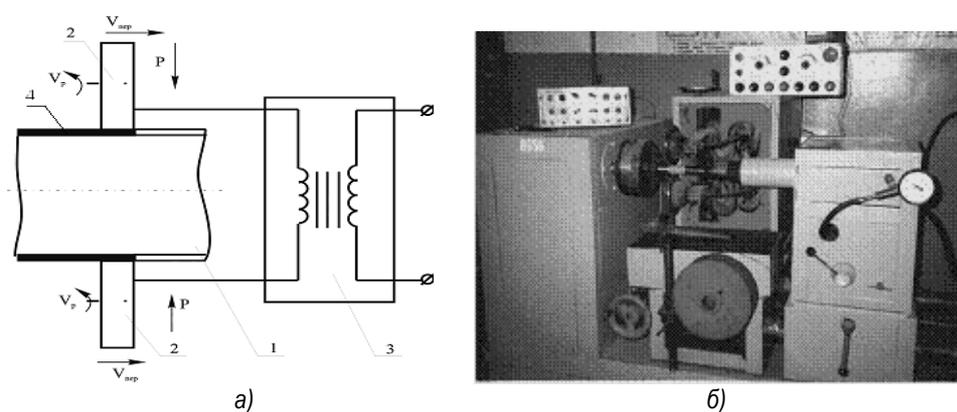


Рис. 1. Технологическая схема (а) и установка (б) электроконтактного припекания:
1 – упрочняемая (восстанавливаемая) деталь; 2 – роликовые электроды; 3 – сварочный трансформатор;
4 – припекаемый порошковый слой (покрытие)

Отметим, что электроконтактные методы относятся как к механотермическим методам упрочнения и обработки, так и к импульсным технологиям, в основе которых лежат принципы одновременного сочетания импульсных режимов механической и электрической энергии. В свою очередь, подобная обработка должна приводить к ускорению диффузионных процессов, поскольку оба фактора: скоростное деформирование и высокочастотное электромагнитное поле – способствуют росту подвижности атомов в обрабатываемых металлах.

Вопрос о физических основах прочности сцепления, как и состояние теории адгезии, весьма сложен и противоречив. Сцепление в адгезионном контакте в различных случаях объясняется молекулярным, диффузионным, донорно-акцепторным, механическим взаимодействием, а также изменением энергетического и структурного состояния перенесенного и основного материалов. Можно согласиться с мнением ряда исследователей, что прочность сцепления обусловлена суммарным действием перечисленных факторов. При этом влияние каждого из этих факторов на прочность сцепления изменяется в зависимости от природы материала, основы и покрытия, их свойств и технических параметров процесса нанесения покрытия, в данном случае электроконтактного припекания. В связи с этим при помощи методов металлографического и рентгеноспектрального анализа исследовали границы раздела основа-покрытие и определяли прочность сцепления покрытий с основой для различных способов нанесения покрытий по методике, описанной в работе [2]. Отметим, что согласно цитируемой работе поверхности раздела напыленных покрытий, основной металл и контактная поверхность совсем не имеют развитого рельефа [2]. Оплавление основы при напылении показывает, что термическая активация приводит не только к усилению химического взаимодействия, но и к образованию переходного диффузионного слоя, что увеличивает прочность сцепления ($\sigma_{сц}$). На основании изложенного можно сделать вывод о комплексном влиянии всех перечисленных факторов на повышение прочности сцепления. Следовательно, развитие поверхности при нанесении покрытий способствует увеличению прочности сцепления не только за счет механических сил, но и за счет увеличения вклада сил молекулярного взаимодействия и диффузионных процессов.

Результаты металлографических, электронномикроскопических, радиоизотопных и микрорентгено-спектральных исследований (рис. 2, 3; табл. 1, 2) показывают, что за время действия синхронизированных импульсов тока и давления, в результате реализации электропластического эффекта (эффекта Троицкого) происходит мгновенное разупрочнение и, как следствие, высокоскоростная пластическая деформация ($10 \leq \dot{\epsilon} \leq 10^2 \text{ с}^{-1}$) железа и стали, в результате чего возникает развитая диффузионная зона между покрытием и металлом основы.

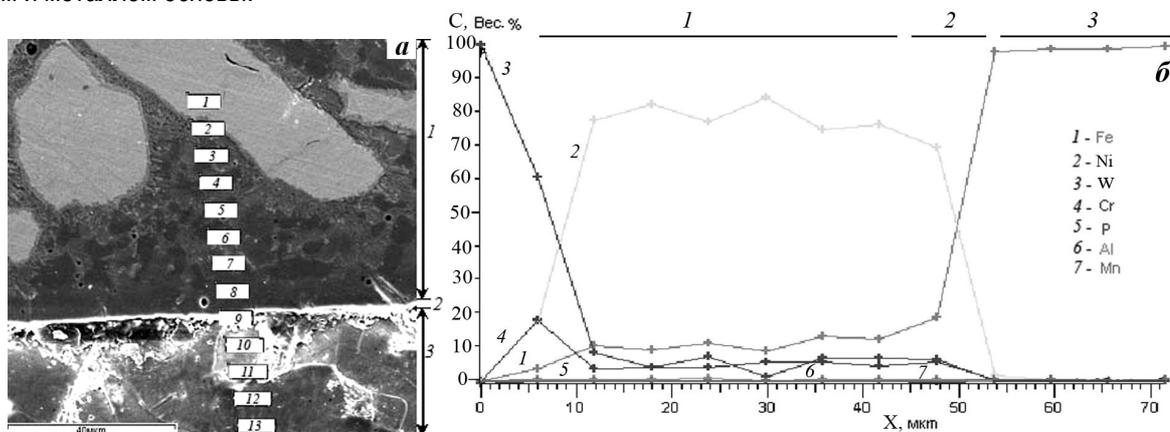


Рис. 2. Микроструктура покрытий ПГ-СР3 на стали (а) x 1000 и распределение элементов (б):
1 – покрытие; 2 – диффузионная зона; 3 – основной металл

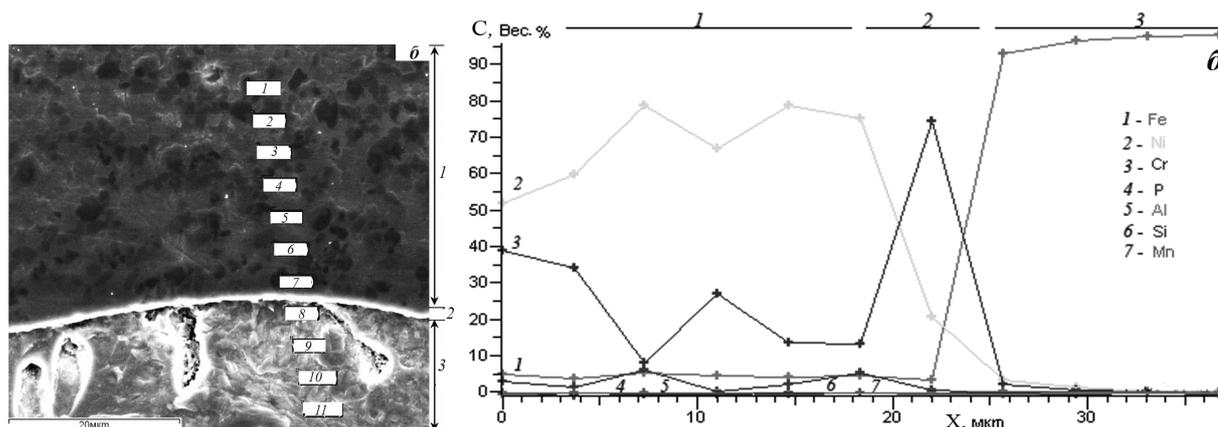


Рис. 3. Микроструктура покрытий ПГ-СР4 на стали (а) x 1000 и распределение элементов (б):
1 – покрытие; 2 – диффузионная зона; 3 – основной металл

Таблица 1
Распределение элементов в покрытии на основе карбида вольфрама, переходной зоне и основном металле Fe (точки измерения с шагом 10 мкм аналогично представленным на рисунках 2, 3) при режиме $I_{сб} = 10 \text{ кА}$, $t_{имп.} = 0,6 \text{ мс}$, $p = 80 \text{ МПа}$

| Точки измерения концентраций | Элемент | | | | | | |
|------------------------------|---------|------|-------|------|-------|-------|-------|
| | Al | P | Cr | Mn | Fe | Ni | W |
| 1 | 0,07 | 0,60 | 0,06 | 0,14 | 0,10 | 0,43 | 99,91 |
| 2 | 0,32 | 0,01 | 18,20 | 0,04 | 3,60 | 17,43 | 60,41 |
| 3 | 0,54 | 0,08 | 3,72 | 0,14 | 10,26 | 77,18 | 8,24 |
| 4 | 0,36 | 0,12 | 4,19 | 0,00 | 9,18 | 82,18 | 3,98 |
| 5 | 0,70 | 0,12 | 3,99 | 0,20 | 11,07 | 76,78 | 7,37 |
| 6 | 0,04 | 0,00 | 5,58 | 0,01 | 8,79 | 84,28 | 1,30 |
| 7 | 0,29 | 0,01 | 5,43 | 0,06 | 13,23 | 74,31 | 6,81 |
| 8 | 0,45 | 0,01 | 4,58 | 0,18 | 12,24 | 76,11 | 6,78 |
| 9 | 0,34 | 0,26 | 5,71 | 0,10 | 18,64 | 69,28 | 6,39 |
| 10 | 0,01 | 0,00 | 0,39 | 0,51 | 97,66 | 1,45 | 0,02 |
| 11 | 0,22 | 0,07 | 0,07 | 0,60 | 98,66 | 0,47 | 0,05 |
| 12 | 0,10 | 0,06 | 0,12 | 0,45 | 98,47 | 0,31 | 0,49 |
| 13 | 0,28 | 0,10 | 0,15 | 0,32 | 99,14 | 0,05 | -0,04 |

Таблица 2

Распределение элементов в покрытии на основе карбида хрома, переходной зоне и основном металле Fe при режиме $I_{ce} = 10$ кА, $t_{имп.} = 0,6$ мс, $p = 80$ МПа

| Точки измерения концентраций | Элемент | | | | | | |
|------------------------------|---------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Al | Si | P | Cr | Mn | Fe | Ni |
| 1 | 0,06 | 3,39 | 0,00 | 38,97 | 0,30 | 5,17 | 52,23 |
| 2 | 0,14 | 1,65 | -0,41 | 34,46 | 0,10 | 4,00 | 60,06 |
| 3 | 0,03 | 6,48 | -0,02 | 8,45 | 0,26 | 5,87 | 78,92 |
| 4 | 0,09 | 0,73 | -0,17 | 27,49 | 0,03 | 4,79 | 67,04 |
| 5 | 0,12 | 2,60 | 0,08 | 14,12 | -0,07 | 4,59 | 78,80 |
| 6 | 0,27 | 5,62 | 0,23 | 13,49 | 0,15 | 4,90 | 75,35 |
| 7 | 0,25 | 0,97 | 0,05 | 74,51 | 0,17 | 3,59 | 20,96 |
| 8 | 0,06 | 0,09 | 0,01 | 2,67 | 0,76 | 92,90 | 3,65 |
| 9 | 0,01 | 0,47 | 0,16 | 0,79 | 0,45 | 96,65 | 1,82 |
| 10 | 0,35 | 0,45 | 0,14 | 0,47 | 0,40 | 97,49 | 0,70 |
| 11 | 0,24 | 0,69 | 0,24 | 0,45 | 0,51 | 98,24 | 0,11 |
| 12 | 0,10 | 0,06 | 0,12 | 0,45 | 98,47 | 0,31 | 0,49 |
| 13 | 0,28 | 0,10 | 0,15 | 0,32 | 99,14 | 0,05 | -0,04 |

Кроме того, имеет место также диффузия атомов основного металла в покрытие, практически на всю толщину покрытия. При режимах припекания: $I_{ce} = 9$ кА, t импульса = 0,6 мс, $p = 80$ МПа, глубина проникновения составляет 10-12 мкм. С ростом величин давления и силы тока подвижность атомов железа изменяется от $3 \cdot 10^{-2}$ до $1,5 \cdot 10^{-1}$ см²/с, диффузионная зона также возрастает и достигает значения ~ 25 мкм.

Отметим, что концентрация хрома на всем протяжении диффузионной зоны несколько выше при диффузии в железо из покрытия, содержащего в дополнение к твердому раствору хрома в никеле карбид хрома Cr₃C₂ (рис. 3), по сравнению с покрытием, в состав которого входит карбид вольфрама WC (рис. 2). Однако на прочность сцепления покрытия с подложкой при ЭКПП состав покрытия практически не влияет. Тем не менее, твердость и износостойкость покрытия, упрочненного карбидом вольфрама выше таковой с карбидом хрома, а коррозионные свойства ниже. С целью выявления влияния процесса припекания на уровень межфазного взаимодействия компонентов композиционного порошка, был проанализирован характер концентрационных кривых, полученных методом количественного рентгеноспектрального анализа на шлифах исходных покрытий, полученных припеканием.

Как видно из рисунков 2, 3, степень межфазного взаимодействия при припекании усиливается – границная зона между наполнителем и матрицей более «размыта». Это связано с определенной растворимостью карбидов в металлах матрицы, а также с диффузионными процессами. При этом карбид хрома более активно взаимодействует с матрицей, чем карбид вольфрама, что, вероятно, объясняется большей его растворимостью в железе. Следует отметить, что уровень межфазного взаимодействия при припекании гораздо ниже, чем при газоплазменном напылении керамики-металлических композиционных порошков. По своей сути контактное припекание композиционных порошков представляет собой вторичную термообработку (точнее термомеханическую обработку), которая способствует завершению начавшихся при спекании порошков физико-химических процессов и улучшению конечного качества покрытий.

Рассмотрим взаимодействие железа и никеля (основа) с различными элементами (порошкообразный материал покрытия) при вышеуказанных параметрах длительности и величины электрического тока. Скорость и длительность деформации железа и никеля без пропуска импульса тока составляли соответственно 1-1,5 с⁻¹ и 2-3 мс, что примерно в 3,5-5 раз дольше продолжительности одного импульса тока. При прохождении тока скорость возрастала до 15-20 с⁻¹. Подвижность атомов в данных условиях нагружения при синхронном действии импульсных деформации и тока $D^{I+\dot{\epsilon}+T}$ и только импульсной деформации $D^{\dot{\epsilon}}$ (обработка I) приведена в таблице 3.

Таблица 3

Подвижность атомов различных элементов в железе и никеле

| Диффузانت | Металл | Обработка I | | Обработка II | |
|-----------|--------|--|--|--|--|
| | | $D^{I+\dot{\epsilon}+T} \cdot 10^5$, см ² /с | $D^{\dot{\epsilon}} \cdot 10^6$, см ² /с | $D^{I+\dot{\epsilon}} \cdot 10^6$, см ² /с | $D^{\dot{\epsilon}} \cdot 10^{11}$, см ² /с* |
| Ni | Железо | 3,0 | 1,1 | 3,9 | 0,4 |
| Cr | | 6,3 | 2,5 | 7,9 | 6,5 |
| W | | 5,2 | 0,9 | 4,1 | 0,2 |
| Fe | Никель | 3,9 | 0,75 | 3,2 | 7,6 |
| Al | | 7,1 | 2,0 | 8,2 | 65,0 |
| Mn | | 9,2 | 3,3 | 11,9 | 98,0 |

Примечание: *скорость деформации железа и никеля составляет $5 \cdot 10^{-3}$ с⁻¹ и $7 \cdot 10^{-3}$ с⁻¹.

Для сравнения в тех же условиях скорости деформации (при действии импульса тока) и характеристик электрического тока (обработка II) проведено изучение влияния электропластического эффекта при наложении импульса тока на медленно деформируемый металл. При этом в отличие от припекания, т.е. $I + \varepsilon + T$, повышение температуры незначительно (до 10-20°C). Из таблицы 3 следует, что наибольшей подвижностью характеризуется диффузия, происходящая под действием трех факторов: высокой температуры, скоростной деформации и импульса тока. При действии двух факторов коэффициенты диффузии исследуемых элементов в железо и никель уменьшаются почти на порядок, импульсная деформация, не сопровождающаяся прохождением электрического тока, способствует диффузии с еще меньшей скоростью (в ~3-5 раз). При квазистатической деформации подвижность атомов меньше примерно на 6-7 порядков. Отметим, что при исследовании диффузии алюминия, меди, титана и др. в растягиваемые металлы в условиях ЭПЭ при скорости деформации в момент разупрочнения 40 с^{-1} и температуры 373 К [3-5] подвижности атомов близки к полученным в данной работе по порядку величины. Такое же влияние температуры и скорости деформации наблюдается при различных обработках: механическом воздействии, нагружении ударами с ультразвуковой частотой и др. [6], однако коэффициенты диффузии в этих случаях могут быть сопоставимыми с данными, но также могут отличаться на величину до 4-5 порядков.

Рассмотрим возможный механизм этого явления. Включение импульсного тока в процессе активной деформации образцов или ползучести приводит, как правило, к скачкообразному приращению деформации и связанному с этим скачком деформирующего усилия. Зависимость этого эффекта от амплитуды J_0 и длительности t_u импульсов тока носит пороговый характер [7]. Порог по J_0 лежит на уровне 250-400 А/мм² для различных металлов, а по t_u на уровне 50-100 мкс. Эффект увеличивается с ростом J_0 и t_u , а также с ростом частоты тока [8]. Встречные импульсы могут мешать друг другу в их действии на пластическую деформацию металла, а действие парных импульсов зависит от времени между импульсами в паре. Значительно сильнее проявляют себя серии из 10-20 импульсов, пропускаемые через деформируемый металл с достаточными интервалами времени для накопления незавершенных сдвигов.

Отмеченные особенности ЭПЭ естественно объяснить увеличением дислокаций электронами проводимости в направлении тока. Действие тока на дислокацию, участвующую в пластической деформации, не эквивалентно только приложению к ним механического напряжения. Как следует из формулы Пича-Келера, сила, действующая на дислокацию со стороны внешнего напряжения, изменяет своё направление на противоположное при изменении знака дислокации, в соответствии с чем, дислокации противоположных знаков откликаются на прирост механического напряжения одинаковым образом. Протекание же через металл тока J_0 приводит к тому, что дислокации, перемещающиеся под острым углом по отношению к направлению тока (условно, положительные дислокации), ускоряют своё движение под влиянием силы увлечения, которая в расчёте на единицу длины дислокации записывается в виде

$$F = J_0 B / ne, \quad (1)$$

где B – коэффициент электрон-дислокационного взаимодействия; n – концентрация электронов проводимости; e – заряд электрона.

Дислокации отрицательного знака движутся под тупым углом к направлению тока, тормозятся той же силой. Поэтому влияние тока не эквивалентно приложению дополнительного механического напряжения. Нужно отметить, что это обстоятельство не обязательно должно приводить к полярному характеру ЭПЭ, поскольку данный эффект является откликом всего дислокационного ансамбля на действие тока. Зависимость вклада в ЭПЭ от направления тока обусловлена различием между плотностями дислокаций разного знака.

В частности, воспользовавшись кинетическим уравнением для скорости термически активированной деформации, в котором учтено действие на дислокации силы увлечения (1), можно показать, что в режиме ползучести скачок деформации определяется выражением

$$\Delta \varepsilon = f \cdot t_u \left[\frac{N_+ - N_-}{N_+ + N_-} \cdot \frac{\sigma_I}{K} + \frac{V^* \sigma_I^2}{2KkT} \right], \quad (2)$$

где N_+ и N_- – плотности дислокаций положительного и отрицательно знаков; K – коэффициент линейного упругости; $\sigma_I = J_0 B / neb$; b – вектор Бюргерса. Здесь учтено, что $\sigma_I V^* \ll kT$. Для оценки $\Delta \varepsilon$ с помощью (2) воспользуемся данными работы [9]: $K=10^6$ Па, $V^*=7 \cdot 10^{-20}$ см³, $T=78$ К, $J=2,5 \cdot 10^8$ А/м², $f=100$ Гц, $t_u = 240$ мкс. Учитывая, что, например, для цинка $b=2,7 \cdot 10^{-18}$ см, $n=1,3 \cdot 10^{23}$ см⁻³, и полагая, что максимальное значение $B=10^{-4}$ г/см·с, получим $\sigma_I = 4,5 \cdot 10^2$ Па и, соответственно, $\Delta \varepsilon = 1,1 \cdot 10^{-5} (N_+ - N_-) / (N_+ + N_-) + 1,5 \cdot 10^{-7}$. Даже если рассмотреть маловероятный случай $N_-=0$ (или $N_+=0$), тогда образец должен иметь явно

выраженный макроскопический изгиб, получим значение $\Delta\varepsilon$ на два порядка меньше чем наблюдалось в исследованиях А. М. Рощупкина и др. [9]. Из формулы (2) следует, что при $N_+ \neq N_-$ смена направления тока может привести к изменению знака $\Delta\varepsilon$. Однако N_+ и N_- практически одинаковы. Поэтому согласно (2) термофлуктуационный вклад в ЭПЭ будет неполярным, а различие между оценкой $\Delta\varepsilon$ и ее экспериментальным значением составит уже четыре порядка.

Такое большое расхождение оценок с экспериментальными данными свидетельствует о более значительном безактивационном вкладе тока в ЭПЭ. Физическая природа этого вклада состоит в том, что под влиянием импульсов тока наиболее неравновесные группы дислокаций положительного знака открепляются от своих препятствий безактивационным путём, чему также способствует инерционный эффект Гранато. При этом резко возрастают силы, действующие на дислокации в направлении тока. Группы же дислокаций отрицательного знака открепляются от стопоров только термофлуктуационным путём. К тому же это открепление затрудняется встречным током. Происходящее во время деформации упрочнение материала препятствует появлению новых неравновесных групп дислокаций. Поэтому время формирования t_ϕ таких групп после микропластической деформации, вызванной очередным импульсом тока, с ростом общей деформации должно возрастать. Это обстоятельство качественно можно учесть, полагая $t_\phi = \bar{l} / \bar{g}$, где \bar{g} – средняя скорость термофлуктуационного движения дислокаций в отсутствие импульсов тока; \bar{l} – среднее перемещение дислокаций, открепившихся от стопоров. Так как скорость пластической деформации $\dot{\varepsilon}$ связана с \bar{g} соотношением $\dot{\varepsilon} = bN\bar{g}$, то $t_\phi = \varepsilon_0 / \dot{\varepsilon}$, где $\varepsilon_0 = b\bar{l}N$; N – общая плотность дислокаций обоих знаков. Воспользовавшись уравнением термоактивируемой пластической деформации:

$$\dot{\varepsilon} = \varepsilon_0 \omega \operatorname{sh} \frac{(\sigma^* - K\varepsilon) g^*}{kT}, \quad (3)$$

с помощью которого, в частности, получена формула (2). Здесь $\omega = \nu \exp(-U/kT)$ – средняя частота преодоления дислокациями потенциальных барьеров с энергией активации U , ν – частота попыток преодоления барьеров; σ^* – эффективные напряжения, отвечающие началу процесса пластической деформации. Решая уравнение (3) для случая ползучести ($\sigma^* = \text{const}$), найдём зависимость от времени пластической деформации. Вычисляя затем скорость ее изменения, получим в итоге время формирования неравновесных дислокационных скоплений:

$$t_\phi = \frac{\varepsilon_0}{\dot{\varepsilon}(t)} = \frac{1}{2\omega} \left\{ \operatorname{cth} \left(\frac{\sigma^* V^*}{2kT} \right) \exp \left(\frac{KV^* \varepsilon_0}{kT} \omega t \right) - \operatorname{th} \left(\frac{\sigma^* V^*}{2kT} \right) \exp \left(- \frac{KV^* \varepsilon_0}{kT} \omega t \right) \right\}. \quad (4)$$

Наибольшее действие импульсный ток оказывает в тех случаях, когда к приходу каждого из последующих импульсов успевают появиться неравновесные группы дислокаций, т.е. при $f t_\phi(t) \ll 1$. Данному условию удовлетворяют только n первых импульсов тока, число которых согласно приведённому неравенству определяется с помощью уравнения $f t_\phi(t_0 + n/f) = 1$, где t_0 – момент включения тока. Подставляя сюда (4) и разрешая полученное уравнение относительно n , получаем

$$n = \frac{1}{\varepsilon_0} \left\{ \frac{kT}{KV^*} \left[\Phi \left(\frac{f}{\omega} \right) + \frac{f}{\omega} \operatorname{lnth} \frac{\sigma^* V^*}{2kT} \right] - f t_0 \right\}, \quad (5)$$

где функция $\Phi(x) = x \ln(1/x + \sqrt{1/x^2 + 1})$ с увеличением x резко возрастает от нуля до 1, приближаясь к последней асимптотически. Если принять, что каждый из n импульсов вызывает элементарную пластическую деформацию $\delta\varepsilon$, то безактивационный вклад тока в пластическую деформацию будет

$$\Delta\varepsilon = n\delta\varepsilon = \frac{\delta\varepsilon}{\varepsilon_0} \left\{ \frac{kT}{KV^*} \left[\Phi \left(\frac{f}{\omega} \right) + \frac{f}{\omega} \operatorname{lnth} \frac{\sigma^* V^*}{2kT} \right] - f t_0 \right\}. \quad (6)$$

Следует отметить, что полученная формула применима лишь при частотах $f \leq f_0 = t_\phi^{-1}(t_0)$. В противоположном случае, когда $f > f_0$, дислокационный ансамбль будет реагировать не на каждый очередной импульс тока, «пропуская» с увеличением f всё большее число импульсов. Учитывая это, а также наличие в (6) максимума при $f \sim \omega$, следует сделать вывод о наличии не монотонного изменения $\Delta\varepsilon$ с возрастанием частоты импульсного тока. При $\sigma^* \gg kT/V^*$ наблюдается согласие формулы (6) с полученным в работе А. М. Рощупкина и др. [9] выходом на насыщенной кривой зависимости ЭПЭ,

пересчитанного условно на прирост эффективного напряжения $\Delta\sigma^* = K\Delta\varepsilon$ от f . При температуре эксперимента 78 К и указанных выше значениях констант K и V^* из (3.6) следует $\Delta\sigma^* \sim 10^5 \delta\varepsilon / \varepsilon_0$ Па, что соответствует экспериментально наблюдаемому значению $\Delta\sigma^* = 10^5$ Па [9] при $\delta\varepsilon \sim \varepsilon_0$.

Элементарная пластическая деформация $\delta\varepsilon$, как и $\Delta\varepsilon$, зависит, согласно (6), от амплитуды импульсов J_0 и их длительности t_n : согласно (6) зависимость от этих величин $\delta\varepsilon$ резко возрастает с увеличением J_0 и t_n и имеет относительно этих величин пороговый характер. Отметим также, что множитель kT / KV^* в формуле (6) в отличие от случая логарифмического закона ползучести обусловлен не непосредственно термофлуктуационной пластической деформацией, а тем, что число актов безактивационной деформации определяется временем t_0 , характеризующим термофлуктуационную перестройку дислокационного ансамбля в процессе ползучести.

На основе развитых представлений удастся также объяснить наблюдавшуюся немонотонную зависимость $\Delta\varepsilon$ от скважности s [10], т.е. от отношения расстояния между парными импульсами к длительности одного импульса. Очевидно, что при $s = 0$ действие пары импульсов эквивалентно действию одного импульса удвоенной длительности. Разнесение импульсов во времени приводит к уменьшению влияния второго, так как к его появлению дислокационные группы, сорванные первым импульсом, становятся уже равновесными, а новые неравновесные группы еще не успевают сформироваться. В результате величина $\Delta\varepsilon$ резко падает. Это продолжается до тех пор, пока расстояние между парными импульсами t_n не сравняется с t_n . После этого второй импульс начинает откреплять образовавшиеся к его приходу новые неравновесные группы дислокации. Вследствие этого $\Delta\varepsilon$ возрастает, выходя на плато, которое ниже значений $\Delta\varepsilon$ при $s=0$. Последнее обстоятельство связано, видимо, с наблюдаемой нелинейной зависимостью электронно-пластической деформации от длительности импульсов t_n [9], что соответствует $\Delta\varepsilon(2t_n) > 2\Delta\varepsilon(t_n)$.

Таким образом, развитая в настоящей работе уточненная концепция о действии импульсов тока на пластическую деформацию металла объясняет основные экспериментальные данные по электропластическому эффекту, полученные к настоящему времени.

Библиографический список

1. Ярошевич, В. К. Электроконтактное упрочнение : монография / В. К. Ярошевич, Я. С. Генкин, В. А. Верещагин. – Минск : Наука и техника, 1982. – 256 с.
2. Ришин, В. В. Исследование прочности сцепления некоторых защитных неорганических покрытий при комнатной и высоких температурах : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ришин Владимир Валентинович. – Киев : ИПП АН УССР, 1973. – 26 с.
3. Чачин, В. Н. Влияние импульсного магнитного поля и растягивающих напряжений на подвижность атомов никеля в меди / В. Н. Чачин, Б. А. Мелещенко, В. М. Тышкевич [и др.] // Весці АН БССР. – 1987. – №4. – С. 49-52
4. Арсенюк, В. В. Особливості перерозподілу атомів в металах за умов електропластичного ефекту / В. В. Арсенюк, Д. С. Герцрикен, В. Г. Костюченко [и др.] // Доп. НАНУ. – 2000. – №2. – С. 99-102.
5. Герцрикен, Д. С. Процеси міграції атомів в металах при одночасній дії пластичного деформування та імпульсного електромагнітного поля / Д. С. Герцрикен, С. М. Захаров, В. М. Миронов [и др.] // Электронная микроскопия и прочность материалов, – 2003. – Вып.12. – С.108-114. – (Серия «Физические материалы, структура и свойства материалов»).
6. Герцрикен, Д. С. Массоперенос в металлах при низких температурах в условиях внешних воздействий : монография / Д. С. Герцрикен, В. Ф. Мазанко, В. М. Тышкевич [и др.]. – 3 изд. дополн. и перераб. – Киев : Изд-во НАН Украины, 2001. – 458 с.
7. Зуев, Л. Б. Подвижность дислокаций в монокристаллах цинка при действии импульсов тока / Л. Б. Зуев, В. Е. Громов, В. Ф. Курилов, Л. И. Гуревич // ДАН СССР. – 1978. – Т. 239, №1. – С. 84-86.
8. Троицкий, О. А. Влияние основных параметров тока на величину электропластического эффекта / О. А. Троицкий, В. И. Спицин, В. И. Стащенко // ДАН СССР. – 1981. – Т. 256, №5. – С. 1134-1137.
9. Рошупкин, А. М. Развитие концепции о действии тока высокой плотности на пластическую деформацию металла / А. М. Рошупкин, О. А. Троицкий, В. И. Спицин // ДАН СССР. – 1986. – Т. 286, №3. – С. 633-636.
10. Рябов, В. Р. Особенности процессов диффузии при конденсаторной сварке-пайке алюминиевых сплавов / В. Р. Рябов, И. С. Дыхно, И. М. Парнета [и др.] // Автоматическая сварка. – 1993. – №4. – С. 15-21.

СИСТЕМА МЕХАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ПЛОДОРОДИЕМ ПОЧВЫ В РЕЖИМЕ ON-LINE

Милюткин Владимир Александрович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Оборудование и автоматизация перерабатывающих производств» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

Тел.: 8-927-264-41-88.

Канаев Михаил Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

Тел.: 8-927-735-62-27.

Кузнецов Михаил Александрович, ст. преподаватель кафедры «Электрификация и автоматизация АПК» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

Тел.: 8-960-811-57-92.

Ключевые слова: гумус, твердость, почва, плодородие, удобрение, мониторинг, механизация, экспресс-метод, внесение, агрегат.

В статье рассматривается система механизации мониторинга плодородия почвы одновременно с работой технологического сельскохозяйственного агрегата, способного одновременно с выполнением основного технологического процесса за счет дифференцированного внесения минеральных удобрений управлять плодородием почвы в режиме on-line, используя корреляционную связь между плодородием (гумусом) и физико-механическими свойствами почвы (объемная масса – плотность, твердость почвы).

Плодородие и продуктивность почвы главным образом определяет гумус (от лат. *humus* – земля, почва), перегной, комплекс специфических темноокрашенных органических веществ почвы.

Выявлено [3], что наиболее эффективно при экспресс-сборе информации (мониторинге) по определению плодородия почвы перед ее обработкой определять мощность гумусового горизонта специальным твердомером (дисковым) с передачей изменяющегося во времени сигнала, после его преобразования, на исполнительный орган, управляющий количеством дифференцированно-вносимых удобрений.

При внедрении и популяризации в мировом аграрном земледелии в последние годы, главным образом по экономическим причинам, точного земледелия с дифференцированным внесением удобрений на участки поля, имеющие различное плодородие [3], сдерживающим данное широкое внедрение и популяризацию остается процесс экспресс-сбора (мониторинга) информации по плодородию почвы в пространстве на отдельном конкретном поле. Существующие методы сложны и трудоемки, и предназначены, главным образом, для работы технологических сельскохозяйственных агрегатов только в режиме off-line, по заранее известной информации об участках поля с различным плодородием.

Цель работы – управление плодородием почвы в режиме on-line за счет дифференцированного внесения удобрений, используя корреляционную связь между плодородием (гумус) и физико-механическими свойствами почвы (плотность и твердость).

Для выполнения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- 1) определить уровень корреляционной зависимости между твердостью почвы (физико-механические свойства) и гумусом (плодородием);
- 2) разработать устройство (дисковый твердомер) для определения твердости почвы в динамике – одновременно с работающим машинно-тракторным агрегатом;
- 3) разработать конструкции комбинированных технологических агрегатов для дифференцированного внесения минеральных удобрений в режиме on-line на основании полученной и преобразованной информации и преобразуемой информации изменяющейся твердости почвы.

При проектировании технологий и разработке систем машин для выполнения этих технологий наличие гумуса, его количество, глубина залегания (мощность) являются приоритетными.

Доктор технических наук, профессор А. С. Кушнарев, определяя науку «Обработка почвы», выделил следующие категории:

- оптимальная плотность почвы;
- равновесная плотность почвы;
- урожай (доля, часть биологической продукции, произведенной на поле);
- гумус;

- пахотный горизонт [1].

Плотность почвы является интегральным показателем состояния почвы, определяющим как условия развития почвенной биоты, так и развития корневой системы выращиваемых на ней растений [2,4].

Результаты проведенных исследований [9] по влиянию плотности почвы на урожай сельскохозяйственных культур дают основание утверждать, что существует устойчивая закономерность (корреляционная зависимость) между плотностью почвы и урожаем.

При разработке современных систем управления сельскохозяйственных машин, изменяющих обрабатываемую среду (в нашем случае – почва) при мониторинге начального (до обработки) качественного состояния этой среды, необходимы экспресс-методы с соответствующей механизацией и автоматизацией процесса сбора и передачи полученной информации.

Практически все имеющиеся технические средства для определения плотности, содержания гумуса и главных питательных веществ NPK не могут работать в динамическом режиме, т.е. одновременно с осуществлением технологического процесса, в частности, одновременно с обработкой почвы дифференцированно вносить удобрения.

В то же время в исследованиях многих ученых (П. У. Бахтин, А. Б. Лурье и др.) используются приборы для определения твердости почвы в процессе движения технологического агрегата. Проведенными исследованиями [3] установлена возможность, при высокой корреляционной зависимости между твердостью почвы и наличием в ней гумуса, проводить экспресс-анализ неравномерности плодородия и, соответственно, продуктивности участков и поля в целом для управления машинами, имеющими возможность дифференцированного внесения удобрений в соответствии с неравномерностью распределения питательных веществ в почве по проходу орудия, устраняя эту неравномерность изменением доз вносимых удобрений.

Имея достаточно высокий коэффициент корреляции (до 0,97) между запасами гумуса и физическими показателями почвы, к которым относится и плотность, и твердость [1], можно с достаточно высокой степенью точности при обязательной коррекции показателей приборов с характеристиками почвы на данном поле, управлять процессами дифференцированного внесения удобрений в зависимости от количества и глубины залегания гумуса через твердость почвы.

Проведенными исследованиями по получению карты поля с показателями твердости почвы в различных слоях и наличию гумуса (мощности) в этих слоях получают идентичные по граничным участкам одинаковой твердости и участков, одинаковых по мощности гумуса, карты полей, используя которые можно дифференцированно вносить удобрения в зависимости от различного количества гумуса. То есть по карте твердости этот процесс осуществим в режиме off-line через бортовой компьютер и исполнительные органы (заслонки, регулирующие норму внесения удобрений) сельскохозяйственной машины.

В то же время использование специально разработанного дискового твердомера [6] позволяет, получая сигнал твердости почвы в определенной точке, через корреляционную зависимость между твердостью и количеством гумуса в этом месте дифференцированно вносить удобрения в режиме on-line.

С целью получения корреляционной зависимости между твердостью почвы и мощностью гумусового горизонта были проведены (с использованием дискового твердомера) дополнительные исследования.

Для экспериментального поля были получены коэффициенты $\epsilon_0 = 1,437$; $\epsilon_1 = -0,562$.

С учетом этих величин зависимость толщины гумусового слоя Y от твердости почвы x описывается линейной моделью вида:

$$Y = f(x) = 1,437 - 0,562x.$$

Данное уравнение отражает обратную линейную зависимость толщины гумусового слоя от твердости почвы.

С помощью данного выражения можно перейти от твердограммы к гумусовой картограмме.

Выполнив описанную процедуру перехода для всех линий твердограммы, получим гумусовую картограмму (рис. 2).

Анализ этой картограммы указывает на то, что в реальной ситуации любой участок поля площадью 1 га и более имеет сложный характер толщины залегания гумусового слоя почвы.

Весной 2006 г. путём рекогносцировочных прикопок был проведён поиск выровненного по плодородию почвы участка для закладки опыта по координатной технологии.

Урожайность зерна озимой пшеницы изменялась от 10,4 до 21,8 ц/га.

В 2008 г. с помощью твердомера определены деланки с мощностью гумусового горизонта от 30 до 50 см и 51-70 см. Отобраны почвенные пробы из горизонта 0-30 см на содержание легкогидролизуемого азота, подвижного фосфора и обменного калия.

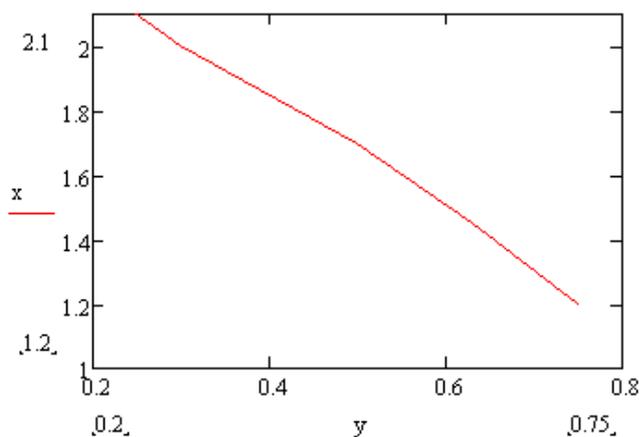


Рис. 1. График зависимости $Y = f(x) = 1,437 - 0,562x$

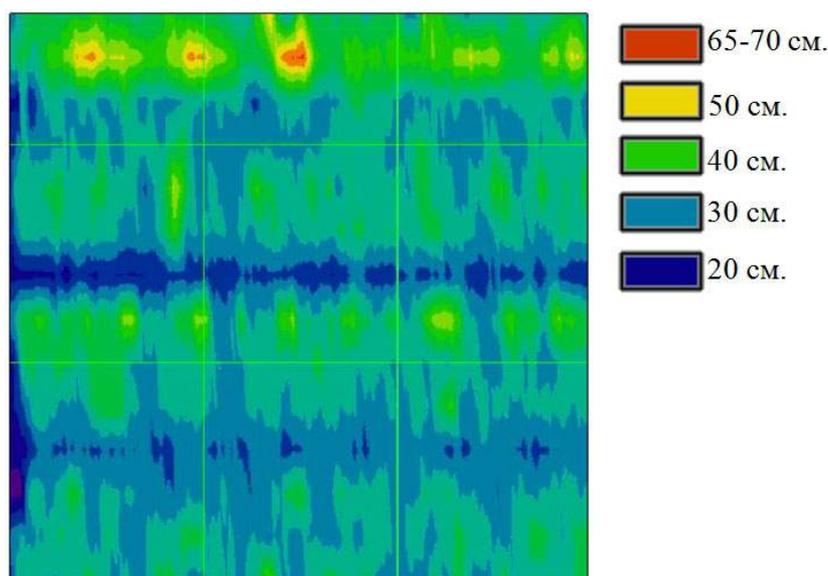


Рис. 2. Карта неоднородности мощности гумусового горизонта

Схема опыта включала 5 вариантов:

- мощность гумусового горизонта 30-50 см без применения удобрений (контроль);
- мощность гумусового горизонта 30-50 см + $N_{51} P_{35}$;
- мощность гумусового горизонта 51-70 см без применения удобрения (контроль);
- мощность гумусового горизонта $N_{42} P_{30}$;
- мощность гумусового горизонта – $N_{47} P_{33}$ без определения твердости почвы.

Для исследований использована экспериментальная сеялка DMC-Primerга 300 T, изготавливаемая фирмой «AMAZONEN-WERKE». Она создана на базе стандартной сеялки DMC-PRIMERA 301 и имеет дополнительное оборудование (бункер и рабочие органы) для внесения удобрений одновременно с посевом.

Доза внесения удобрения взята как средняя по двум горизонтам. Условно назовем его – хозяйственный вариант. Повторение опытов четырехкратное, учетная площадь делянки – 100 м². Посев произведен 5 мая 2008 г., уборка урожая – 10 августа 2008 г. комбайном «Сампо», при этом высевалась пшеница сорта Кинельская 60.

Доза внесения удобрений определена для получения планируемого урожая зерна – 2,15 т/га, исходя из среднемноголетней влагообеспеченности,

$$ДВУ_{m/га} = (140 + 138 \times 0,7) / (110) = 237 \times 110 = 2,15,$$

где 140 – запасы продуктивной влаги весной в период посева (среднее многолетнее), мм;

138 – сумма осадков за период вегетации яровой пшеницы (среднемноголетнее), мм;

0,7 – коэффициент использования летних осадков;

110 – коэффициент водопотребления, мм/т.

В 2008 г. (за счет лучшей влагообеспеченности) расчетная урожайность зерна составила 2,61 т/га.

Расчетная планируемая урожайность по обеспеченности почвы питательными веществами в зависимости от мощности гумусового горизонта по азоту составила 1,59-1,69 т/га, по фосфору – 1,57-1,65 т/га и по калию – 3,63-3,77 т/га, то есть фактором, ограничивающим получение планируемого урожая, являлось содержание доступных форм азота и фосфора (табл. 1).

Таблица 1

Расчетная урожайность зерна яровой пшеницы по обеспеченности питательными веществами

| Мощность гумусового горизонта, см | Содержание элементов питания, мг/100 г | | | Расчетная урожайность зерна, т/га | | |
|-----------------------------------|--|-------------------------------|------------------|-----------------------------------|------------|----------|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | по азоту | по фосфору | по калию |
| 30-50 | 8,9 | 7,6 | 14,8 | 1,59 | 1,56 | 3,63 |
| 51-70 | 9,5 | 8,1 | 16,2 | 1,69 | 1,65 | 3,97 |

Для получения планируемого урожая (2,15 т/га) на участке с мощностью гумусового горизонта 30-50 см нужно внести удобрение из расчета N₅₁ P₃₃ (табл. 2), а на делянках с более мощным гумусовым горизонтом – N₄₂ P₃₀.

Таблица 2

Обоснованные дозы удобрений (N,P,K) на планируемый урожай – 2,15 т/га с учетом среднесевогодней влагообеспеченности и мощности гумусового горизонта 30-50 см

| № | Показатели | Элементы питания | | |
|---|---|------------------|-------------------------------|------------------|
| | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| 1 | Вынос питательных веществ на 1 т зерна, кг | 41,9 | 11,5 | 17,1 |
| 2 | Вынос питательных веществ с урожаем, кг/га | 90 | 25 | 37 |
| 3 | Содержание в пахотном горизонте, мг/100 г почвы | 8,9 | 7,6 | 14,8 |
| 4 | Содержание в пахотном горизонте, кг/га | 267 | 228 | 444 |
| 5 | Коэффициент использования элементов питания из почвы, % | 25 | 8 | 14 |
| 6 | Возможное использование из почвы, кг/га | 67 | 18 | 62 |
| 7 | Необходимо усвоить из удобрений, кг/га | 23 | 7 | - |
| 8 | Коэффициент использования элементов питания из удобрений, % | 45 | 20 | - |
| 9 | Требуется внести с минеральными удобрениями, кг/га | 51 | 35 | - |

Для сбалансирования питательных веществ по фосфору необходимо внести нитроаммофоса 152 кг/га (35/23) × 100, для обеспечения азотом – аммиачную селитру 47 кг/га (51 – 35) / 34 × 100, то есть всего туков необходимо внести 199 кг/га.

В настоящее время по разработанной методике была принята программа создания системы механизации и управления плодородием почвы в режиме on-line для четырех основных технологических операций при возделывании сельскохозяйственных культур:

- 1) для внесения минеральных удобрений при культивации (рис. 3) [6];
- 2) для посева сельскохозяйственных культур одновременно с внесением минеральных удобрений (рис. 4) [7];
- 3) для уборки с разбрасывателем для дифференцированного внесения минеральных удобрений (рис. 5) [8];
- 4) для разбрасывания минеральных удобрений [5].

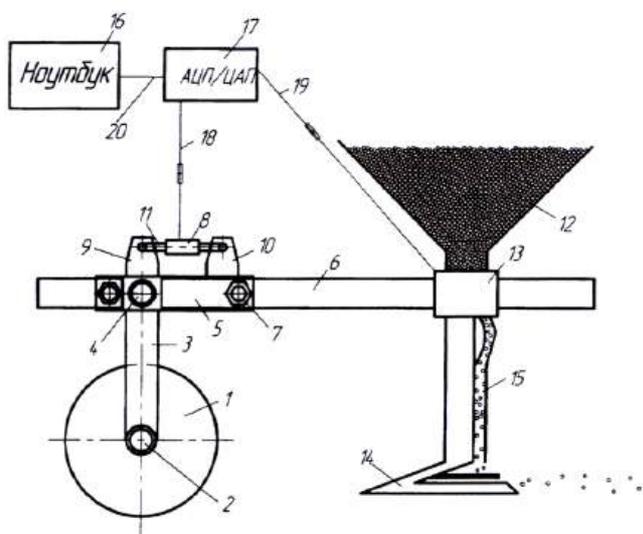


Рис. 3. Агрегат для дифференцированного внесения минеральных удобрений при культивации:

- 1 – диск; 2, 4 – ось; 3 – нижнее плечо двуплечего рычага; 5 – ползун; 6 – рама; 7 – гайка; 8 – тензометрическое звено;
- 9 – верхнее плечо двуплечего рычага; 10 – стойка; 11 – дужка; 12 – бункер для удобрений; 13 – дозатор; 14 – культиваторная лапа;
- 15 – тукопровод; 16 – ноутбук; 17 – АЦП/ЦАП; 18, 19, 20 – кабель

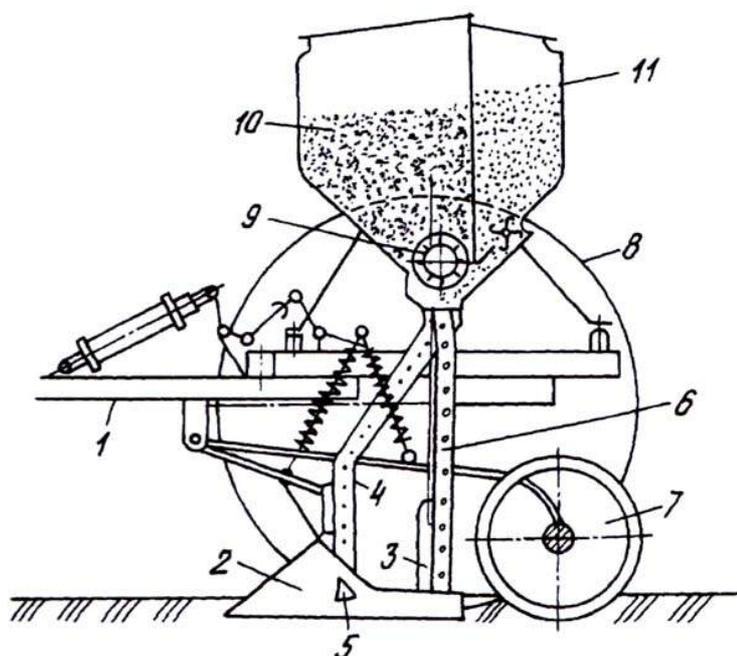


Рис. 4. Агрегат для дифференцированного внесения удобрений при посеве:

1 – рама; 2 – стрелчатая лапа-сошник; 3 – ножи-рассекатели; 4 – семяпроводы для разбросного посева; 5 – приспособление для разброса семян; 6 – семяпроводы для рядового посева; 7 – катки; 8 – опорное колесо; 9 – высевашный аппарат; 10 – семенной бункер; 11 – бункер для удобрений

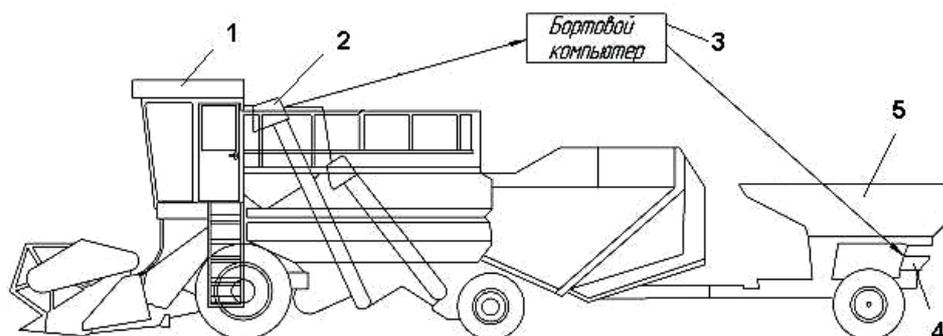


Рис. 5. Агрегат для дифференцированного внесения минеральных удобрений при уборке сельскохозяйственных культур:

1 – зерноуборочный комбайн; 2 – датчик урожайности; 3 – бортовой компьютер; 4 – автоматические заслонки; 5 – разбрасыватель минеральных удобрений

Все представленные направления по технологиям и конструкциям сельскохозяйственных машин запатентованы [5-8].

Первые результаты исследований по определению динамики плодородия почвы и твердости почвы на конкретном поле для дифференцированного внесения удобрений показали эффективность данного направления в совершенствовании системы точного земледелия.

Таким образом, можно сделать вывод:

1) Интенсивно внедряемые технологии точного земледелия требуют наличия экспресс-методов картирования полей по фактическому плодородию, которое трудоемкое и затратное при использовании существующих методик.

2) Предложенным дисковым твердомером значительно упрощается сбор информации и картирование полей по твердости почвы, которая имеет высокую степень корреляционной зависимости от мощности гумуса, причем обратная линейная зависимость – мощность гумусового слоя Y от твердости x :

$$Y = 1,437 - 0,562x.$$

3) В соответствии с предложенной методикой разработаны и запатентованы практически все технологические операции при возделывании сельскохозяйственных культур, что позволяет управлять плодородием полей и повышать их продуктивность с использованием современных технических средств, рационально применяя минеральные удобрения.

Библиографический список

1. Кушнарев, А. С. Методические предпосылки выбора способа обработки почвы / А. С. Кушнарев, В. В. Погорелый // Техника АПК. – 2008. – №1. – С. 17-21.
2. Милюткин, В. А. Повышение продуктивности почвы дифференцированным ярусным внесением удобрения / В. А. Милюткин, А. В. Милюткин, А. И. Мартынов // Сборник докладов XII международной научно-практической конференции. – 2012. – Ч. 1. – С. 602-609.
3. Милюткин, В. А. Технологии и технические средства дифференцированного внесения удобрений в условиях точного земледелия / В. А. Милюткин, А. В. Милюткин, М. А. Канаев // Евразийская интеграция: роль науки и образования в реализации инновационных программ : мат. Международной научно-практической конференции.– Уральск, 2012. – Ч. II. – С. 139-143.
4. Милюткин, В. А. Разработка машин для подпочвенного внесения удобрений на основании агробиологических характеристик растений / В. А. Милюткин, М. А. Канаев, А. В. Милюткин // Известия Самарской сельскохозяйственной академии. – 2012. – №3. – С. 9-13.
5. Пат. 2282965 Российская Федерация, МПК А01С 15/00. Разбрасыватель минеральных удобрений / Милюткин В. А., Пронин В. В., Ларионов Ю. В. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА. – № 2004127652/12 ; заявл. 15.09.2004 ; опубл. 10.09.2006. – 5 с. : ил.
6. Пат. 2376743 Российская Федерация, МПК А01С 15/00. Способ и устройство для внесения удобрений при культивации / Милюткин В. А., Ларионов Ю. В., Канаев М. А. ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО Самарская ГСХА. – № 2007132386/12 ; заявл. 27.08.2007 ; опубл. 10.03.2009. – 3 с. : ил.
7. Пат. 2461168 Российская Федерация, МПК А01В 49/06. Комбинированный почвообрабатывающе-посевной агрегат / Милюткин В. А., Стребков Н. Ф. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА. – № 2011116607/13 ; заявл. 26.04.2011 ; опубл. 20.09.2012. – 5 с. : ил.
8. Пат. 2477597 Российская Федерация, МПК А01С 15/00. Способ дифференцированного внесения минеральных удобрений при уборке зерновых культур / Милюткин В. А., Канаев М. А., Котов Д. И. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА. – № 2011119379/12 ; заявл. 13.05.2011 ; опубл. 20.03.2013. – 5 с. : ил.
9. Казаков, Г. И. Системы земледелия и агротехнологии возделывания полевых культур в Среднем Поволжье / Г. И. Казаков, В. А. Милюткин. – Самара : РИЦ СГСХА, 2010. – 261 с.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

УДК 620.179.112

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ НАДЕЖНОСТИ И РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Володько Олег Станиславович, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Тракторы и автомобили» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8а.

Тел.: 8(84663) 46-3-46.

Ленивцев Александр Геннадьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Механизация, автоматизация и электроснабжение строительства» ФГБОУ ВПО «Самарский государственный архитектурно-строительный университет».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8а.

Тел.: 8-927-600-20-00.

Ключевые слова: надежность, работоспособность, трибологическая, система, ресурс, технический, уровень.

Проведен сравнительный анализ ГОСТ 27.002-89 и Р 27.002-2009 «Надежность в технике. Основные термины и определения» и предложена методология исследования надежности и работоспособности технических систем.

Надежность и работоспособность в большинстве случаев выступают основными свойствами технических систем, определяющими технико-экономическую, технологическую и экологическую эффективность их функционирования в реальных условиях эксплуатации. Характерными и многочисленными представителями технических систем являются мобильные энергетические средства (МЭС), адаптированные для работы в различных областях и направлениях народного хозяйства. По уровню напряженности рабочих режимов и условий эксплуатации в общей группе транспортно-технологических машин и комплексов (ТТМ и К) можно выделить:

- автотранспортные средства грузового и пассажирского назначения;
- дорожно-строительные и подъемно-транспортные машины и механизмы в строительной индустрии;
- тракторы и автомобили, комбайны и другие специальные машины для агропромышленного комплекса (АПК).

Актуальность широких исследований надежности и работоспособности технических систем определяется интенсивным развитием трибологических направлений в машиностроении, открытием явления «избирательного переноса», обоснованием нанотехнологий и практической реализацией безызносных режимов работы ресурсопределяющих сопряжений машин и механизмов. Важное значение при этом имеют всесторонний анализ и экспериментальная оценка определяющих критериев надежности и работоспособности техники с учетом реальных условий эксплуатации.

Цель исследований – повышение надёжности и работоспособности технических систем с обоснованием рациональных ресурсных критериев и методологии их обеспечения на разных этапах «жизненного цикла» машин.

Основные задачи раскрытия современного представления и развития понятий надежность и работоспособность машин характеризуются следующими аспектами:

- сравнительный анализ нормативных документов по основным понятиям, терминам и определениям надежности и работоспособности в технике;
- оценка развития новых технических и технологических направлений с использованием в машиностроении перспективных технологий и методов повышения ресурса машин;
- обоснование рациональных критериев оценки надежности, готовности и работоспособности машин на разных этапах их жизненного цикла;
- аналитическая оценка технического уровня современных машин и механизмов и методов его повышения на основе базы экспериментальных данных, систематизированных с учетом особенностей и видов технических систем.

Методика решения поставленных задач включает характерные для научного исследования этапы:

- аналитический обзор номенклатурных понятий надежности и работоспособности машин;
- теоретическое обоснование оптимальной взаимосвязи динамических и трибологических систем отдельных элементов и механизмов;
- выбор рациональных и перспективных технологий на всех этапах жизненного цикла машин;
- разработку рекомендаций по формированию многофункциональной базы экспериментальных исследований, обеспечивающих использование инновационных технологий создания и эксплуатации машин при оптимальных и прогнозируемых критериях надежности и работоспособности.

Выбор объекта, предмета, условий и режимов исследований обусловлен особенностями взаимодействия входных и выходных параметров трибологической системы, определяющей конструктивно-технологическую структуру машин, как типичного представителя исследуемой технической системы, и условий её эксплуатации. Отличительной особенностью данных условий для МЭС автотранспортного, дорожно-строительного и сельскохозяйственного направления является работа в основном при открытом атмосферном воздействии в различных климатических зонах, в широком интервале нагрузочно-скоростных режимов работы и при высокой загрязненности окружающей среды частицами пыли абразивного характера. Отмеченные условия эксплуатации являются в большинстве случаев определяющими факторами снижения трибологических параметров и ресурса машин [3, 6, 8].

Характерной чертой научно-технического прогресса является постоянное возникновение все более сложных проблем, требующих разработки новых теоретических решений и методов экспериментальных исследований. Так в машиностроении вследствие совершенствования конструкции МЭС, технологических процессов их изготовления и эксплуатации требуется более квалифицированный инженерный подход к обеспечению надежности и работоспособности машин.

Сравнительный анализ технических нормативных документов по надежности и работоспособности в технике показывает, что введенный в действие 01.01.2011 года ГОСТ Р 27.002-2009 «Надежность в технике. Термины и определения» несколько отличается от ранее действовавшего ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения» [4, 5].

Прежний ГОСТ рассматривал надежность «как свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования» [4]. Как комплексное свойство объекта, надежность в данном случае включает его безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость и в определенной мере характеризует его работоспособность, т.е. «состояние, при котором значения всех параметров, определяющих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации».

ГОСТ Р 27.002-2009 (табл. 1) с учетом новых товарно-рыночных отношений и вступления России в ВТО адаптирован по форме и содержанию с аналогичными зарубежными техническими нормативами ISO и отечественными стандартами ИСО в области обеспечения качества и общей надежности изделий, принятых в данных документах в качестве объектов оценки [5].

В мировом и отечественном производстве транспортных и энергетических машин в настоящее время широкое распространение получает анализ технического изделия в рамках полного жизненного цикла: создание (научно-технический поиск, проектирование, изготовление образцов, испытание, доводка конструкции), производство (постановка модели машины на производство, установившееся производство и снятие с производства), обращение (упаковка, хранение, транспортирование) и эксплуатация (ввод в эксплуатацию, использование по назначению, техническое обслуживание, ремонт, модернизация, хранение, снятие с эксплуатации и утилизация). При этом активно используются компьютерные технологии (САПР), автоматические системы

управления технологическими процессами и предприятиями (АСУ ТП, АСУП), GALS-технологии, которые в условиях современных TV и Internet-коммуникаций могут целенаправленно формировать базу аналитических и экспериментальных данных для создания перспективных технических систем различного направления.

Таблица 1

Структура терминов надежности и работоспособности в технике (ГОСТ Р 27.002-2009)

| Термины | Определения | Основные свойства и условия |
|---|---|--|
| Надежность | Свойство изделия выполнять требуемую функцию | - безотказность; - ремонтпригодность; - поддержка технического обслуживания |
| Готовность | Способность изделия выполнять требуемую функцию | - необходимые внешние ресурсы обеспечены (может включать климатические, технические и экономические обстоятельства); - сочетание свойств надежности |
| Долговечность | Способность изделия выполнять требуемую функцию | - до достижения предельного состояния при данных условиях использования и технического обслуживания |
| Сохраняемость | Способность изделия выполнять требуемую функцию | - в течение и после хранения и (или) транспортирования |
| Работоспособное состояние | Состояние изделия, при котором оно способно выполнять требуемую функцию | - необходимые внешние ресурсы представлены; - возможно работоспособное состояние для всех или отдельных функций |
| Комплексное материально-техническое обеспечение | Процесс скоординированного управления по обеспечению всех материалов и ресурсов, требуемых для эксплуатации изделия | - обеспечение основных свойств и способностей надежности, готовности и работоспособности |

Структурный анализ надежности и работоспособности машин показывает, что их основные критерии базируются на видах и скорости изнашивания сопряженных поверхностей, ресурсных параметрах технической системы в целом и уровне технико-экономических и экологических показателей изделия и условий безопасности жизнедеятельности. Данные направления характеризуются развитием исследований в следующих областях науки: трении, смазывании и изнашивании; конструировании и расчете машин; химмотологии; трибологии и триботехники; нанотехнологии в машиностроении и др. Результаты исследования свидетельствуют о постепенном изменении основных свойств надежности (табл. 1) и энерго-экономических показателей работоспособности (параметры качества, производительность, расход топливо-смазочных материалов, уровень обеспечения необходимого внешнего ресурса и др.). Первая группа показателей определяет уровень надежности, где преобладают трибологические аспекты состояния элементов машин, как сложных систем, а вторая группа характеризует организационно-технологическую реализацию их работоспособности.

В числе критериев надежности технических систем характерным является ресурс её основных составляющих: механическое устройство, гидравлическое, пневматическое и электрооборудование, которые обеспечивают трансформацию и адаптацию энергии, управление и другие функции системы. В форме аддитивного показателя суммарный критерий надежности технической системы можно представить выражением:

$$H_C = H_M \cdot \alpha_M + H_G \cdot \alpha_G + H_P \cdot \alpha_P + H_\Delta \cdot \alpha_\Delta, \quad (1)$$

где H_C – критерий надежности системы;

H_M, H_G, H_P, H_Δ – критерии надежности механической, гидравлической, пневматической и электрической составляющей системы;

$\alpha_M, \alpha_G, \alpha_P, \alpha_\Delta$ – соответствующие уровни значимости критериев отдельных составляющих.

Приняв механическое устройство за основу технической системы, с учетом исследований [1, 7], технический ресурс при реализации процессов трения в механизмах на микроуровне имеет форму регламентированного ресурса (T_p), обоснованного скоростью изнашивания ресурсопределяющих деталей. При этом реализуются условия

$$I_\Delta \leq I_p; T_\Delta \geq T_p, \quad (2)$$

где I_Δ и I_p – действительная и регламентированная средние скорости изнашивания;

T_Δ и T_p – действительный и регламентированный ресурсы машины.

Основной трибологический закон взаимодействия поверхностей трения в данном случае характеризуется соотношениями:

$$F_{TP} = F_a + F_k, \quad (3)$$

$$f_{TP} = f_a + f_k,$$

где F_{TP} и f_{TP} – сила и коэффициент трения;

F_a и f_a – молекулярные (адгезионные) составляющие;

F_k и f_k – деформационные (когезионные) составляющие.

Повышение технического уровня ТТМ и К на данном уровне решения трибологических проблем базируется на реализации следующих направлений:

- оптимизации основных критериев триады «надежность – готовность – работоспособность машин»;
- обеспечении достаточного уровня насыщения контактов поверхностей трения ресурсоопределяющих сопряжений;
- создании базы научно-экспериментальных данных по методам насыщения контактов на основе функциональной, аналитической и эмпирической взаимосвязи определяющих факторов;
- систематизации условий эксплуатации машин и методов обеспечения рациональных режимов функционирования их трибологических систем (нагрузочно-скоростной и температурный режимы работы, совершенство смазочной системы, герметичность механизмов, уровень фильтрования масла и др.).

Современный уровень развития «триботехники», как научного направления, и внедрения нанотехнологий в производство технических систем открывают возможность реализовать их жизненный цикл с условиями прогнозируемого ресурса (T_a), т.е. обратного направления проектирования машины от рационального программирования технического ресурса по критерию скорости изнашивания к обоснованию динамической схемы, разработки новых технологий изготовления и формирования структуры материалов для поверхностей трения ресурсоопределяющих деталей. Процессы трения в данном случае рассматриваются и реализуются на наноуровне, а определяющими критериями являются соотношение суммарной площади фактического контакта $\sum \Delta S_\phi$ и номинальной площади S_H сопряжения деталей, а также адгезионной и когезионной составляющих коэффициента трения

$$\sum \Delta S_\phi \rightarrow S_H; \quad (4)$$

$$f_{TP} \approx f_a, \quad f_k \rightarrow 0.$$

Решение трибологических проблем повышения технического уровня машин суммируется при этом дополнительными направлениями:

- модификация поверхностей трения на структурном и рельефном уровнях с формированием их положительного градиента твердости;
- оптимизация трибологических параметров в сопряжениях технических систем, обеспечивающих снижение водородного изнашивания, реализацию явления «избирательного переноса» при трении и реализацию «безызносных» режимов работы механизмов и машин.

В работе Беркович И. И. и др. [2] предложена модель изнашивания, в которой «учтен не только основной механизм разрушения, но и ряд наиболее существенных факторов, определяющих ход изнашивания: дискретность контакта, локализованный микрообъем материала, динамика контактной нагрузки, вклад химических превращений и др.». Базовое уравнение изнашивания может быть представлено в следующем виде

$$I_{II} = \frac{\Delta S_\phi \cdot n_c \cdot h}{\Pi \cdot \xi \cdot \lambda \cdot t_o \cdot \exp\left(\frac{\mathcal{G} - \psi \cdot \gamma \cdot \alpha}{R \cdot T}\right)}, \quad (5)$$

где I_{II} – прогнозируемая скорость изнашивания трибосопряжения;

ΔS_ϕ – фактическая площадь единичного контакта;

n_c – число контактов;

h – глубина зоны наибольшей концентрации дислокаций;

Π – характеристика релаксации повреждений;

ξ – исходная повреждаемость материала;

λ – отношение поверхности частицы среднестатистического размера к поверхности одного активированного объема;

t_o – постоянная времени;

\mathcal{G} – энергия активации разрушения межатомной связи при отсутствии внешних напряжений;

ψ – коэффициент поглощения (диссипативность контакта);

γ – структурно-чувствительный коэффициент;

α – напряжение;

$R \cdot T$ – энергия теплового движения.

Представленный теоретический подход оценки изнашивания совместно с аналитическими выражениями других теорий трения углубляет анализ трибологических процессов перспективных технических систем и определяет новые исследовательские задачи на основных этапах их жизненного цикла.

Современный уровень технического прогресса характеризуется повышением надежности и работоспособности машин и механизмов, которые базируются на результатах теоретических и экспериментальных исследований трибологических процессов в технических системах. Рациональными в этом направлении являются следующие этапы и направления исследований:

- обоснование этапов реализации программируемого ресурса технической системы;
- разработка нанотехнологических методов формирования поверхностей трения с положительным градиентом твердости и повышение уровня насыщения контакта поверхностей;
- формирование базы экспериментальных данных по снижению различных видов изнашивания, улучшению критериев надежности и работоспособности машин;
- систематизация теоретической и экспериментальной информации с целью разработки многофакторных программ её компьютерного анализа и обоснования технических рекомендаций.

Библиографический список

1. 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.
2. Беркович, И. И. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения / И. И. Беркович, Д. Г. Громаковский ; под ред. Д. Г. Громаковского. – Самара : СамГТУ, 2000. – 268 с.
3. Володько, О. С. Пути повышения ресурса агрегатов тракторных трансмиссий / О. С. Володько, Г. А. Ленивец, В. В. Ефимов // Известия Самарской ГСХА. – Самара, 2010. – Вып. 3. – С. 57-60.
4. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – Введ. 1990–01–07. – М. : Изд-во стандартов. – 24 с.
5. ГОСТ 27.002-2009. Надежность в технике. Термины и определения. – Введ. 2011–01–01. – М. : Стандарт-Информ. – 32 с.
6. Зорин, В. А. Основы работоспособности технических систем. – М. : Академия, 2009. – 208 с.
7. Ленивец, Г. А. Эффективность и эксплуатационная надежность сельскохозяйственной техники / Г. А. Ленивец, О. С. Володько, А. Г. Ленивец // Известия Самарской ГСХА. – Самара, 2009. – Вып. 3. – С. 39-43.
8. Прокопенко, В. А. Графические модели объектов экономических исследований / В. А. Прокопенко, С. В. Машков, С. А. Карпушкина // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – Вып. 2. – С. 74-79.

УДК 631.372.012

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЦЕНТРИФУГИ НА СТЕПЕНЬ ОЧИСТКИ МАСЕЛ

Ленивец Геннадий Александрович, канд. техн. наук, проф. кафедры «Тракторы и автомобили» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8.
Тел.: 8(84663) 46-3-46.

Бажутов Денис Николаевич, ассистент кафедры «Тракторы и автомобили» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446435, Самарская область, г. Кинель, ул. Украинская, 44.
Тел.: 8(84663) 46-3-46.

Ключевые слова: центробежный, очиститель, гидравлическая, система, масло, метод, конечный, элемент.

В статье отражены особенности применения метода конечных элементов при анализе процесса центробежной очистки масла. Приведены результаты исследований по обоснованию конструктивных параметров центробежного очистителя.

Возникшие новые тенденции в центрифугальной технике обусловили появление многообразных конструкций центрифуг, некоторые из которых известным расчетным путем оценить затруднительно.

В свою очередь успешная разработка аппаратов центробежного разделения и внедрение их в промышленность связана с проблемами разработки конструкций аппаратов и определения условий реализации в них процессов, способствующих решению тех или иных актуальных технологических задач [3, 4]. Имеющаяся информация по данному вопросу носит эмпирический или полуэмпирический характер, что не позволяет использовать ее с достаточной степенью надежности при проектировании центробежного

оборудования. Поэтому эти задачи могут считаться фактически решенными в том случае, если будут созданы надежные методы аналитического расчета процессов центробежного разделения.

Целью данного исследования является оценка влияния размерных параметров ротора центрифуги на эффективность очистки масел.

Исходя из поставленной цели, необходимо решить следующие задачи:

- смоделировать процесс центробежной очистки посредством программ вычислительной гидродинамики;
- определить характер влияния размерных параметров центрифуги на эффективность очистки масла.

Объектом исследований является процесс центробежного разделения низкоконцентрированных суспензий. В рамках этого объекта предметом исследований служит гидродинамика потока суспензии в роторе осадительной центрифуги при различных значениях параметров, определяющих физические условия в них.

Метод конечных объемов, средствами которого предлагается решить поставленные задачи, является аналитической процедурой. Ключевая идея метода при анализе поведения конструкций и сред заключается в следующем: сплошная среда моделируется путем разбиения ее на области (конечные объемы), в каждой из которых поведение среды описывается с помощью отдельного набора выбранных функций, представляющих напряжения и перемещения в указанной области [8].

Метод конечных объемов широко применяют в компьютерном проектировании. Программный комплекс SolidWorks2009 предоставляет необходимый инструментарий для решения широкого круга задач по анализу эффективности применения средств очистки рабочих жидкостей в реальных условиях эксплуатации.

Традиционно в SolidWorks2009 применяется метод конечных объемов и сопряженный алгебраический многосеточный решатель. Конечные объемы содержат дополнительные точки интегрирования, что позволяет добиваться большей устойчивости решения и лучшей сходимости.

Фундаментальные законы сохранения массы, импульса, энергии позволяют вывести дифференциальные уравнения, которые совместно с дополнительными условиями позволяют сформулировать задачу математически.

Расчет течения жидкости в современных программных продуктах выполняется путем численного решения системы уравнений, описывающих движение жидкой среды [5, 6].

Рассмотрим движение жидкости в роторе центрифуги, отвлекаясь пока от осаждения твердой фазы. Для этого воспользуемся системой дифференциальных уравнений, включающей уравнение неразрывности потока и гидродинамические уравнения (уравнения Навье-Стокса) для установившегося движения в цилиндрической системе координат [9]:

$$\frac{\partial rv}{\partial r} + \frac{\partial rw}{\partial z} + \frac{\partial ru}{r\partial\varphi} = 0, \quad (1)$$

$$v \frac{\partial v}{\partial r} + u \frac{\partial v}{r\partial\varphi} + w \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{u^2}{r} = F_r - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial r} + \nu \left(\nabla v - \frac{v}{r^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial u}{\partial\varphi} \right), \quad (2)$$

$$v \frac{\partial u}{\partial r} + u \frac{\partial u}{r\partial\varphi} + w \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{v \cdot u}{r} = F_\varphi - \frac{1}{\rho \cdot r} \frac{\partial P}{\partial\varphi} + \nu \left(\nabla u - \frac{u}{r^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v}{\partial\varphi} \right), \quad (3)$$

$$v \frac{\partial w}{\partial r} + u \frac{\partial w}{r\partial\varphi} + w \frac{\partial w}{\partial z} = F_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \nabla w, \quad (4)$$

где $\nabla = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial\varphi^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа; F_r, F_φ, F_z – проекции массовых сил; ρ – плотность жидкости; P – давление жидкости; ν – кинематическая вязкость жидкости; w, v, u – компоненты вектора скорости.

Для прогнозирования процесса разделения неоднородных систем на центрифугах, а также полного изучения гидродинамики в роторе центрифуги необходимо рассматривать движение двухфазного потока.

Модель дисперсных частиц. Этот подход используется для моделирования двухфазных течений, в которых вещество одной из фаз представлено в виде дисперсных частиц, причем объемная доля, занимаемая этими частицами, невелика (до 10% общего объема). Вещество, присутствующее в потоке в виде дискретных частиц, не образует сплошную среду, отдельные частицы взаимодействуют с потоком основной фазы и друг с другом дискретно. Для моделирования движения частиц рассеянной фазы в роторе центробежного очистителя используем подход Лагранжа, т.е. отслеживается движение отдельно взятых частиц рассеянной фазы под действием сил со стороны потока основной фазы [11].

На первом этапе решается задача разработки модели и расчетных алгоритмов для описания гидродинамических процессов в роторе центрифуги. На втором этапе определяются технологические и размерные параметры ротора центрифуги, обеспечивающие требуемую эффективность разделения.

Исследование процесса очистки в центробежном поле фильтра проводилось с использованием программного пакета вычислительной гидродинамики COSMOSFloWorks, EFD.Lab комплекса SolidWorks2009, математической основой которого является метод конечных элементов [1].

В начале решения задачи в CAD-системе Catia v.5 была построена трехмерная твердотельная модель центробежного очистителя с возможностью последующего изменения ее основных конструктивных параметров. Далее модель импортировалась в препроцессор программы COSMOS FlowWorks, где осуществлялась ее оптимизация и разбиение расчетной области внутренних объемов ротора на сетку конечных объемов в сеточном генераторе. Общее число конечных объемов расчетной области составило 185 685 [1]. Принято, что граничными условиями являются: жесткое закрепление модели через ось ротора, внутренние поверхности ротора и его основания, вращающиеся с одинаковой частотой; давление рабочей жидкости на входе и расход на выходе. Далее описываются основные физико-химические свойства жидкости (рабочей гидравлической жидкости) и дисперсной фазы.

В результате анализа гидродинамики в роторе центрифуги, проведенного посредством программы вычислительной гидродинамики, были получены численные значения и картины изменения давлений, скоростей и температур потока. Установлено наличие зон высокой турбулентности и зон обратного тока в пристеночных областях ротора [1].

В ходе аналитических расчетов и экспериментальных исследований при постоянной производительности центрифуги определен максимальный диаметр осаждающихся частиц для различных частот вращения ротора центрифуги.

Для определения критического диаметра воспользуемся следующей формулой [4]:

$$d_{кр} = \sqrt{\frac{9\mu Q}{\pi \Delta \rho \omega^2 r_g^2 L}}, \quad (5)$$

где μ – вязкость жидкости, Па·с; Q – производительность центрифуги, м³/с; $\Delta \rho$ – разность плотностей твердой и жидкой фаз, кг/м³; ω – угловая скорость, рад/с; r_g – внутренний радиус слоя жидкости в роторе, м; L – длина зоны осаждения, м.

На рисунке 1 представлены зависимости критического диаметра от частоты вращения ротора центрифуги, полученные по различным методикам.

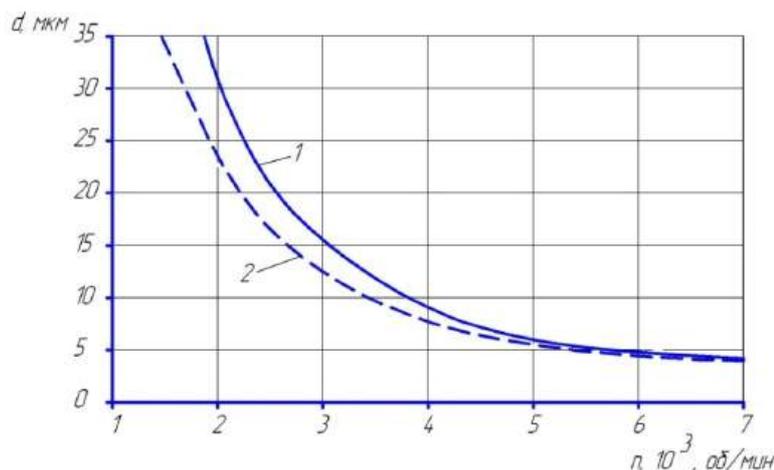


Рис. 1. Зависимость критического диаметра от частоты вращения ротора ($Q=32$ л/мин):
1 – результаты вычислений по формуле; 2 – результаты численного эксперимента

В процессе анализа зависимостей была выявлена удовлетворительная согласованность – расхождение результатов составила в среднем 7 %.

Таким образом, можно заключить, что применяемый численный метод исследования гидродинамики в роторе центрифуги является вполне эффективным для решения задач процесса осаждения суспензии.

На основе представленной модели течения и реализации ее численного решения получены данные о структуре течения рабочей жидкости и твердых частиц в центробежном очистителе [1]. Оценено влияние некоторых размерных параметров ротора на эффективность разделения суспензии.

Варьирование геометрическими характеристиками контура ротора центрифуги позволило выявить параметры, оказывающие наибольшее влияние на эффективность разделения суспензии, и подобрать их наилучшее соотношение для конкретной суспензии.

Оценено влияние высоты и диаметра ротора на эффективность разделения суспензии. В качестве допущения принято, что суспензия монодисперсная.

Для более точной оценки получаемых данных подвергнут рассмотрению спектр траекторий движения частиц, так как анализ результатов показывает, что структура движения частиц при постоянной скорости вращения ротора и производительности центрифуги зависит от радиуса поступления частиц во входное сечение ротора.

Проанализировано влияние высоты ротора на эффективность разделения суспензии при неизменных остальных размерных параметрах ротора центрифуги. Определена высота ротора центрифуги, при которой все частицы определенного диаметра осаждаются на внутреннюю поверхность ротора. На рисунке 2 представлена зависимость степени разделения $\eta = (C_{исх} - C_{ф})/C_{исх}$ суспензии от высоты ротора центрифуги H при различных диаметрах частиц дисперсной фазы. При этом расход суспензии и частота вращения ротора оставались постоянными. Как видно из рисунка 2, для более тонкого разделения требуется увеличение высоты ротора центрифуги.

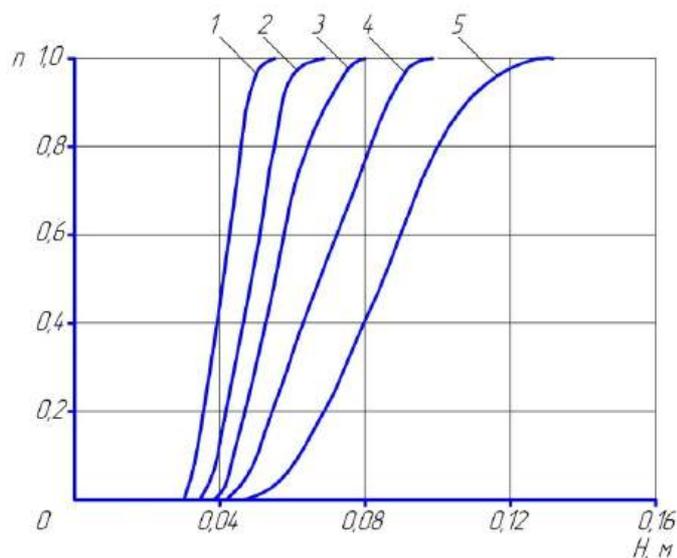


Рис. 2. Зависимость степени разделения суспензии от высоты ротора ($n=5000$ об/мин, $Q=32$ л/мин):
1 – 25 мкм; 2 – 20 мкм; 3 – 15 мкм; 4 – 10 мкм; 5 – 5 мкм

Проведено исследование влияния диаметра ротора центрифуги на эффективность осаждения частиц твердой фазы. График зависимости содержащихся твердых частиц в фугате при различных диаметрах ротора представлен на рисунке 3.

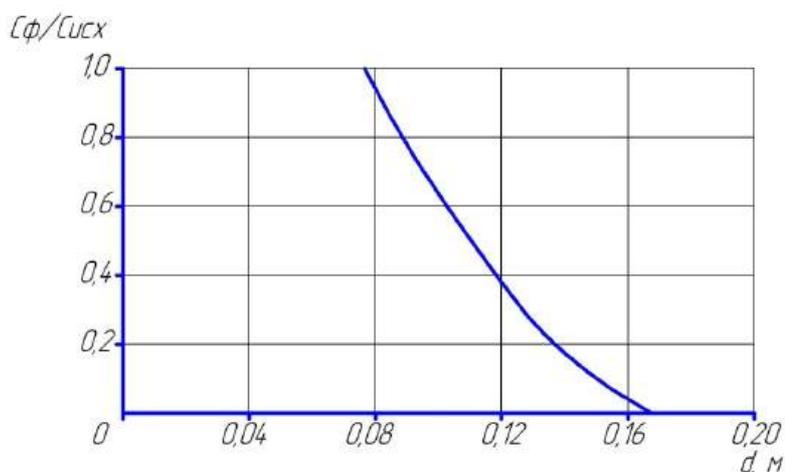


Рис. 3. Зависимость относительного уноса частиц от диаметра ротора ($n=5000$ об/мин, $Q=32$ л/мин, $d=8$ мкм)

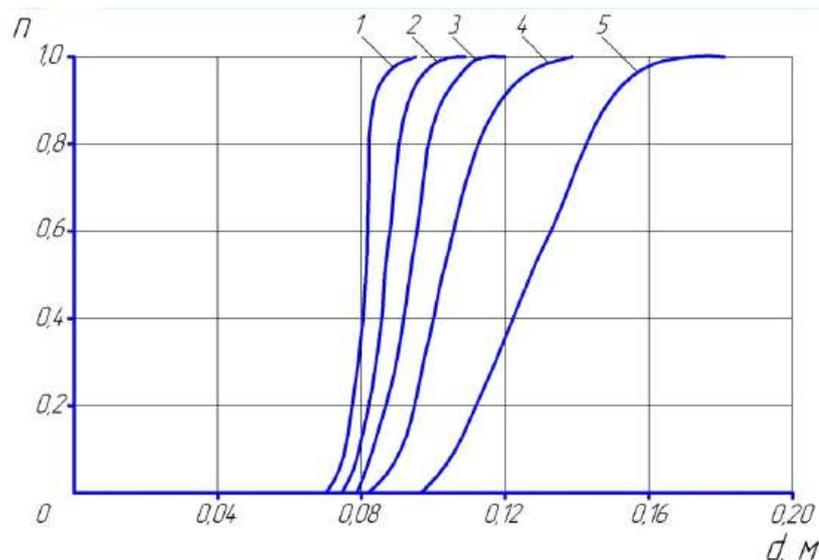


Рис. 4. Зависимость степени разделения суспензии от диаметра ротора ($n=5000$ об/мин, $Q=32$ л/мин):
1 – 25 мкм; 2 – 20 мкм; 3 – 15 мкм; 4 – 10 мкм; 5 – 5 мкм

Для определения характера взаимного влияния рассматриваемых параметров проведены численные эксперименты, результаты которых представлены на рисунке 5.

Численные эксперименты проводились для частиц твердой фазы плотностью 2650 кг/м^3 (кварц). Расход суспензии и частота вращения ротора центрифуги оставались постоянными. С помощью полученных данных можно с достаточной для инженерной практики точностью определить габаритные размеры ротора центрифуги, при которых обеспечивается требуемое разделение суспензии.

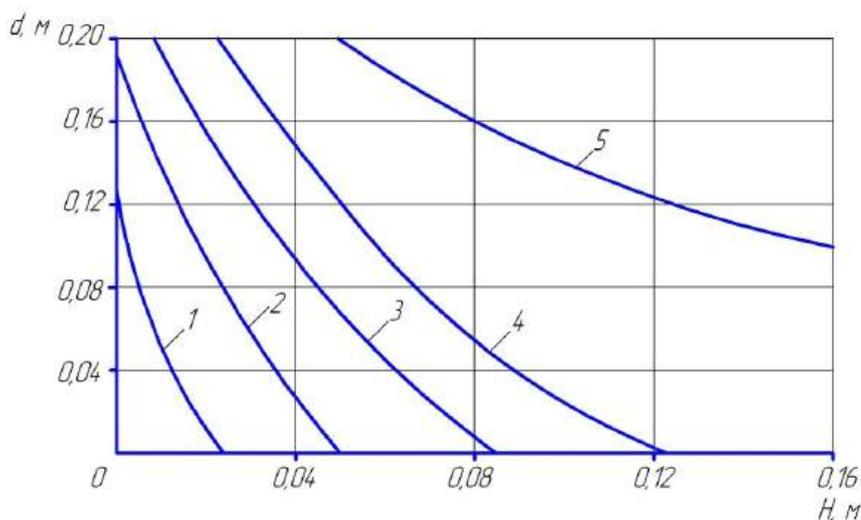


Рис. 5. Соотношение диаметра ротора и его высоты для обеспечения заданной эффективности разделения ($n=5000$ об/мин, $Q=32$ л/мин):
1 – 25 мкм; 2 – 20 мкм; 3 – 15 мкм; 4 – 10 мкм; 5 – 5 мкм

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы: проведен теоретический анализ процесса центробежной очистки методом конечных элементов в программах вычислительной гидродинамики (CFD); получены зависимости эффективности разделения суспензии от размерных параметров ротора центрифуги; установлено, что при высоте $H=137$ мм и диаметре $D=148$ мм ротора центрифуга обеспечивает заданную эффективность разделения, характерную для рабочих жидкостей гидросистем, с учетом параметров жидкости и твердых частиц.

Библиографический список

1. Бажутов, Д. Н. Модернизация гидравлической системы навесного оборудования трактора / Д. Н. Бажутов, Г. А. Левинцев, О. С. Володько // Известия Самарского научного центра РАН. – Самара, 2011. – Т.13, №4. – С. 27-29.
2. Белов, И. А. Моделирование турбулентных течений / И. А. Белов, С. А. Исаев. – СПб., 2001. – 108 с.

3. Бродский, Г. С. Обоснование, выбор параметров и разработка систем фильтрации рабочих жидкостей для гидрофицированных горных машин : дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.06 / Бродский Григорий Семёнович. – М., 2006. – 370 с.
4. Качанова, Л. С. Совершенствование очистки отработанного масла центробежными аппаратами : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Качанова Людмила Сергеевна. – зерноград, 2004. – 152 с.
5. Кочевский, А. Н. Расчет внутренних течений жидкости в каналах с помощью программного продукта FlowVision // Вестник СумГУ. – Сумы, 2004. – №2 (61). – С. 25-36
6. Кочевский, А. Н. Современный подход к моделированию и расчету течений жидкости в лопастных гидромашинах / А. Н. Кочевский, В. Г. Неня // Вестник СумГУ. – Сумы, 2003. – №13 (59). – С. 195-210.
7. Павлова, Н. В. Исследование двухфазных течений в роторе осадительной центрифуги : дис. ...канд. техн. наук : 01.02.05 / Павлова Наталья Валерьевна. – Бийск, 2004. – 117 с.
8. Поляков, С. Н. Анализ эффективности пылеулавливания вихревого аппарата ВЗП-М200 с помощью программного комплекса ANSYS CFX [Электронный ресурс] // ANSYS Solutions : [сайт]. – URL: <http://ansysolutions.ru> (дата обращения: 2.04.2013).
9. Тарапов, И. Е. Механика сплошной среды: общие законы кинематики и динамики. – Харьков : Золотые страницы, 2002. – 515 с.
10. Dehbi, A. Assessment of a new fluent model for particle dispersion in turbulent flows // 4th Int. Conf. on Multiphase Flow. – New Orleans, 2005. – pp. 703-720.

УДК 621.436

ОЦЕНКА ЖИРНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ И ДИЗЕЛЬНЫХ СМЕСЕВЫХ ТОПЛИВ НА ОСНОВЕ РЫЖИКА, СУРЕПИЦЫ И ЛЬНА МАСЛИЧНОГО

Сидоров Евгений Алексеевич, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Технический сервис и ремонт машин» ФГБОУ ВПО «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия имени П.А. Столыпина». 433431, Ульяновская область, Чердаклинский район, п. Октябрьский, ул. Студенческая, д. 24. Тел.: 8-927-820-45-59.

Уханов Александр Петрович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Тракторы, автомобили и теплоэнергетика» ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия». 440014, г. Пенза, ул. Конструкторская, д. 2. Тел.: 8(8412) 62-85-17.

Зеленина Ольга Николаевна, канд. с.-х. наук, зав. лабораторией ГНУ «Пензенский научно-исследовательский институт сельского хозяйства» Россельхозакадемии. 442600, Пензенская область, п.г.т. Лунино. Тел.: 8-927-384-20-99.

Ключевые слова: дизель, топливо, масло, компонент, ультразвук.

Приведены результаты исследований жирнокислотного состава рыжикового, сурепного и льняного масел и дизельных смесевых топлив на их основе. Дана оценка влияния ультразвука на жирнокислотный состав растительных масел и смесевых растительно-минеральных топлив.

Одним из перспективных направлений повышения конкурентоспособности отечественного агропромышленного производства является работа по переводу автотракторной техники на дизельное смесевое топливо (ДСТ), получаемое путём смешивания минерального дизельного топлива (ДТ) и растительного масла (РМ) [1, 2]. Россия, как страна, имеющая значительные невозделываемые сельскохозяйственные площади и благоприятные условия для выращивания многих масличных культур, сможет не только обеспечить себя РМ, но и прочно занять ведущее место среди поставщиков альтернативных источников энергии биологического происхождения на мировой рынок.

В качестве биологического компонента для производства ДСТ наиболее изучено и широко внедрено в производство рапсовое масло [3,4]. Технология получения этого масла хорошо отлажена, однако агротехника возделывания рапса достаточно сложна и затратна. Поэтому в качестве альтернативных видов РМ могут являться рыжиковое, сурепное и льняное масла [5-10].

Для использования перечисленных РМ в качестве биологического компонента ДСТ, в первую очередь, необходимо оценить жирнокислотный состав РМ и ДСТ на их основе при различных объёмных соотношениях РМ и минерального ДТ.

Цель исследований – оценка жирнокислотного состава натуральных и озвученных масел (рыжикового, сурепного и льняного) и ДСТ. Для достижения поставленной цели была определена следующая задача – провести хроматографический анализ натуральных и озвученных масел (рыжикового, сурепного и льняного) и ДСТ на их основе.

Объект исследований: растительные масла рыжика, сурепицы и льна масличного, полученные методом холодного отжима, а также их смеси с летним минеральным ДТ в объемном соотношении 25:75, 50:50, 75:25 и 90:10.

Содержание высокомолекулярных жирных кислот (ВЖК) растительных масел определяли методом газожидкостной хроматографии на хроматографе «Кристалл 5000.1» в Пензенском НИИСХ Россельхозакадемии.

Сравнительный состав ВЖК масел рыжика, сурепицы и льна масличного приведен в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительный состав ВЖК масел рыжика, сурепицы и льна масличного

| Наименование ВЖК | Химическая формула | Содержание ВЖК, % | | |
|-------------------------|--|-------------------|---------------|---------------|
| | | рыжик | сурепица | лён |
| Насыщенные | | 8,500 | 5,822 | 9,440 |
| Миристиновая | C ₁₄ H ₂₈ O ₂ | 0,040 | 0,036 | 0,033 |
| Пентадекановая | C ₁₅ H ₃₀ O ₂ | 0,010 | 0,013 | 0,013 |
| Пальмитиновая | C ₁₆ H ₃₂ O ₂ | 4,300 | 3,322 | 5,250 |
| Стеариновая | C ₁₈ H ₃₆ O ₂ | 2,300 | 1,527 | 3,663 |
| Арахидиновая | C ₂₀ H ₄₀ O ₂ | 1,040 | 0,460 | 0,133 |
| Бегеновая | C ₂₂ H ₄₄ O ₂ | 0,310 | 0,310 | 0,167 |
| Лигноцеридиновая | C ₂₄ H ₄₈ O ₂ | 0,500 | 0,154 | 0,181 |
| Мононенасыщенные | | 26,400 | 56,000 | 15,966 |
| Пальмитоолеиновая | C ₁₆ H ₃₀ O ₂ | 0,070 | 0,151 | 0,072 |
| Олеиновая | C ₁₈ H ₃₄ O ₂ | 12,730 | 44,564 | 15,560 |
| Годоиновая | C ₂₀ H ₃₈ O ₂ | 11,190 | 2,917 | 0,142 |
| Эруковая | C ₂₂ H ₄₂ O ₂ | 2,380 | 7,856 | 0,024 |
| Нервоновая | C ₂₄ H ₄₆ O ₂ | 0,030 | 0,512 | 0,168 |
| Полиненасыщенные | | 65,090 | 38,184 | 74,597 |
| Линолевая | C ₁₈ H ₃₂ O ₂ | 24,290 | 25,974 | 69,509 |
| Эйкозодиеновая | C ₂₀ H ₃₆ O ₂ | 1,520 | 0,178 | 0,047 |
| Докозодиеновая | C ₂₂ H ₄₀ O ₂ | 0,240 | 0,024 | 0,018 |
| γ-линоленовая | C ₁₈ H ₃₀ O ₂ | 0,010 | 0,004 | 0,002 |
| α-линоленовая | C ₁₈ H ₃₀ O ₂ | 36,920 | 11,954 | 5,016 |
| Докозатриеновая | C ₂₂ H ₃₈ O ₂ | 0,240 | 0,035 | 0,001 |
| Арахидоновая | C ₂₀ H ₃₂ O ₂ | 1,870 | 0,015 | 0,004 |

В масле рыжика основными ВЖК являются полиненасыщенные α-линоленовая (37%) и линолевая (24%) кислоты, а также мононенасыщенные олеиновая (12,7%) и годоиновая (11%) кислоты.

Масло сурепицы по составу ВЖК отличается от масла рыжика высоким содержанием мононенасыщенных ВЖК и, прежде всего, высоким содержанием олеиновой кислоты (44,5%).

Отличительной особенностью масла льна масличного от масел рыжика и сурепицы является более низкое содержание мононенасыщенных кислот (16%) и повышенное содержание полиненасыщенных кислот (74,6%), основную долю которых составляет линолевая кислота (69,5%).

Суммарное содержание мононенасыщенных ВЖК составило в масле рыжика 26,4%, сурепицы – 56% и льна – 16%.

Добавление в исследуемые растительные масла летнего минерального топлива Л-02-62 привело к некоторому изменению содержания ВЖК в ДСТ (табл. 2-4).

Анализ данных таблицы 2 показывает, что при повышении в рыжико-минеральном топливе доли минерального ДТ до 75% увеличивается содержание пентадекановой, γ-линоленовой, эйкозодиеновой, эруковой и нервоновой кислот и уменьшается содержание стеариновой, линолевой и годоиновой кислот.

Из таблицы 3 следует, что с повышением в сурепно-минеральном топливе доли минерального ДТ происходит увеличение содержания пальмитиновой, γ-линоленовой, годоиновой и арахидоновой кислот.

Исследования ВЖК масла льна (табл. 4) показало, что при увеличении в ДСТ доли летнего минерального ДТ наблюдается увеличение содержания миристиновой, пентадекановой, пальмитиновой, γ-линоленовой и арахидиновой кислот, при некотором снижении содержания пальмитоолеиновой, стеариновой, олеиновой и докозодиеновой кислот.

Представляет научный и практический интерес оценить влияние ультразвука на относительное содержание ВЖК в растительном масле и ДСТ (табл. 5-7).

Таблица 2

Содержание ВЖК в рыжико-минеральном топливе

| Наименование ВЖК | Относительное содержание ВЖК, % | | | | |
|-------------------|---------------------------------|--------|-------|-------|-------|
| | доля масла в смеси, % | | | | |
| | 100 | 90 | 75 | 50 | 25 |
| Миристиновая | 0,04 | 0,006 | 0,03 | 0,03 | 0,01 |
| Пентадекановая | 0,01 | 0,0019 | 0,22 | 0,47 | 1,36 |
| Пальмитиновая | 4,30 | 4,254 | 4,22 | 4,23 | 4,23 |
| Пальмитоолеиновая | 0,07 | 0,026 | 0,09 | 0,11 | 0,17 |
| Стеариновая | 2,30 | 2,276 | 2,27 | 2,23 | 2,14 |
| Олеиновая | 12,73 | 13,531 | 12,65 | 12,60 | 12,09 |
| Линолевая | 24,29 | 24,240 | 24,15 | 23,96 | 23,92 |
| γ-линоленовая | 0,01 | 0,032 | 0,04 | 0,06 | 0,13 |
| α-линоленовая | 36,92 | 36,023 | 36,93 | 36,80 | 36,60 |
| Арахидовая | 1,04 | 1,049 | 1,04 | 1,04 | 1,03 |
| Годоиновая | 11,19 | 11,248 | 11,21 | 11,15 | 10,75 |
| Эйкозодиеновая | 1,52 | 1,523 | 1,55 | 1,56 | 1,62 |
| Арахидоночная | 1,87 | 1,828 | 1,88 | 1,87 | 1,85 |
| Бегеновая | 0,31 | 0,339 | 0,33 | 0,34 | 0,38 |
| Эруковая | 2,38 | 2,452 | 2,41 | 2,49 | 2,54 |
| Докозодиеновая | 0,24 | 0,016 | 0,22 | 0,21 | 0,21 |
| Докозатриеновая | 0,24 | 0,379 | 0,24 | 0,25 | 0,26 |
| Лигноцериновая | 0,50 | 0,143 | 0,51 | 0,53 | 0,56 |
| Нервоновая | 0,03 | 0,619 | 0,03 | 0,08 | 0,16 |

Таблица 3

Содержание ВЖК в сурепно-минеральном топливе

| Наименование ВЖК | Относительное содержание ВЖК, % | | | | |
|-------------------|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | доля масла в смеси, % | | | | |
| | 100 | 90 | 75 | 50 | 25 |
| Миристиновая | 0,036 | 0,040 | 0,036 | 0,031 | 0,031 |
| Пентадекановая | 0,013 | 0,014 | 0,013 | 0,013 | 0,023 |
| Пальмитиновая | 3,322 | 3,329 | 3,346 | 3,353 | 3,589 |
| Пальмитоолеиновая | 0,151 | 0,151 | 0,158 | 0,152 | 0,143 |
| Стеариновая | 1,527 | 1,522 | 1,529 | 1,556 | 1,448 |
| Олеиновая | 44,564 | 44,711 | 44,403 | 44,181 | 43,854 |
| Линолевая | 25,974 | 25,878 | 26,147 | 26,090 | 26,427 |
| γ-линоленовая | 0,004 | 0,005 | 0,013 | 0,014 | 0,079 |
| α-линоленовая | 11,954 | 11,952 | 11,895 | 11,940 | 11,907 |
| Арахидовая | 0,460 | 0,464 | 0,460 | 0,458 | 0,412 |
| Годоиновая | 2,917 | 2,923 | 2,931 | 3,013 | 2,947 |
| Эйкозодиеновая | 0,178 | 0,171 | 0,176 | 0,172 | 0,135 |
| Арахидоночная | 0,015 | 0,016 | 0,020 | 0,031 | 0,076 |
| Бегеновая | 0,310 | 0,329 | 0,328 | 0,273 | 0,373 |
| Эруковая | 7,856 | 7,758 | 7,777 | 7,941 | 7,856 |
| Докозодиеновая | 0,024 | 0,026 | 0,028 | 0,026 | 0,023 |
| Докозатриеновая | 0,035 | 0,034 | 0,035 | 0,037 | 0,020 |
| Лигноцериновая | 0,154 | 0,174 | 0,207 | 0,217 | 0,198 |
| Нервоновая | 0,512 | 0,509 | 0,504 | 0,506 | 0,463 |

Таблица 4

Содержание ВЖК в льняно-минеральном топливе

| Наименование ВЖК | Относительное содержание ВЖК, % | | | | |
|-------------------|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | доля масла в смеси, % | | | | |
| | 100 | 90 | 75 | 50 | 25 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Миристиновая | 0,033 | 0,033 | 0,033 | 0,040 | 0,069 |
| Пентадекановая | 0,013 | 0,013 | 0,015 | 0,020 | 0,022 |
| Пальмитиновая | 5,250 | 5,261 | 5,265 | 5,319 | 5,595 |
| Пальмитоолеиновая | 0,072 | 0,073 | 0,067 | 0,057 | 0,056 |
| Стеариновая | 3,663 | 3,657 | 3,658 | 3,649 | 3,567 |
| Олеиновая | 15,560 | 15,565 | 15,554 | 15,533 | 15,460 |
| Линолевая | 69,509 | 69,364 | 69,422 | 69,169 | 69,145 |
| γ-линоленовая | 0,002 | 0,008 | 0,013 | 0,046 | 0,084 |

Окончание табл. 4

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| α-линоленовая | 5,016 | 5,179 | 5,136 | 5,253 | 5,061 |
| Арахидиновая | 0,133 | 0,144 | 0,147 | 0,162 | 0,190 |
| Годоиновая | 0,142 | 0,191 | 0,187 | 0,241 | 0,236 |
| Эйкозодиеновая | 0,047 | 0,053 | 0,060 | 0,059 | 0,058 |
| Арахидиновая | 0,004 | 0,013 | 0,012 | 0,019 | 0,018 |
| Бегеновая | 0,167 | 0,175 | 0,163 | 0,149 | 0,131 |
| Эруковая | 0,024 | 0,024 | 0,019 | 0,033 | 0,054 |
| Докозодиеновая | 0,018 | 0,018 | 0,014 | 0,008 | 0,005 |
| Докозатриеновая | 0,001 | 0,002 | 0,001 | 0,005 | 0,009 |
| Лигноцеридиновая | 0,181 | 0,067 | 0,071 | 0,080 | 0,079 |
| Нервоновая | 0,168 | 0,164 | 0,165 | 0,161 | 0,167 |

Таблица 5

Содержание ВЖК в озвученном рыжико-минеральном топливе

| Наименование ВЖК | Относительное содержание ВЖК, % | | | | |
|-------------------|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | доля масла в смеси, % | | | | |
| | 100 | 90 | 75 | 50 | 25 |
| Миристиновая | 0,039 | 0,042 | 0,026 | 0,026 | 0,519 |
| Пентадекановая | 0,011 | 0,023 | 0,015 | 0,022 | 0,178 |
| Пальмитиновая | 4,378 | 4,625 | 4,324 | 4,463 | 5,522 |
| Пальмитоолеиновая | 0,070 | 0,079 | 0,092 | 0,084 | 0,436 |
| Стеариновая | 2,475 | 2,265 | 2,271 | 2,255 | 2,190 |
| Олеиновая | 12,772 | 12,946 | 12,666 | 12,898 | 12,643 |
| Линолевая | 24,066 | 24,784 | 24,283 | 24,223 | 24,588 |
| γ-линоленовая | 0,027 | 0,023 | 0,025 | 0,039 | 0,261 |
| α-линоленовая | 36,625 | 37,932 | 36,661 | 36,797 | 34,614 |
| Арахидиновая | 1,054 | 0,942 | 1,054 | 1,016 | 1,039 |
| Годоиновая | 11,225 | 10,242 | 11,259 | 10,984 | 10,360 |
| Эйкозодиеновая | 1,513 | 1,397 | 1,536 | 1,481 | 1,573 |
| Арахидиновая | 1,841 | 1,711 | 1,855 | 1,804 | 1,554 |
| Бегеновая | 0,312 | 0,259 | 0,332 | 0,362 | 0,824 |
| Эруковая | 2,409 | 1,951 | 2,442 | 2,363 | 2,653 |
| Докозодиеновая | 0,019 | 0,018 | 0,032 | 0,130 | 0,275 |
| Докозатриеновая | 0,376 | 0,265 | 0,335 | 0,365 | 0,336 |
| Лигноцеридиновая | 0,182 | 0,115 | 0,188 | 0,151 | 0,081 |
| Нервоновая | 0,610 | 0,411 | 0,609 | 0,544 | 0,358 |

Таблица 6

Содержание ВЖК в озвученном сурепно-минеральном топливе

| Наименование ВЖК | Относительное содержание ВЖК, % | | | | |
|-------------------|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | доля масла в смеси, % | | | | |
| | 100 | 90 | 75 | 50 | 25 |
| Миристиновая | 0,039 | 0,039 | 0,033 | 0,034 | 0,038 |
| Пентадекановая | 0,013 | 0,013 | 0,012 | 0,013 | 0,018 |
| Пальмитиновая | 3,316 | 3,368 | 3,366 | 3,387 | 3,563 |
| Пальмитоолеиновая | 0,155 | 0,154 | 0,164 | 0,161 | 0,152 |
| Стеариновая | 1,532 | 1,556 | 1,536 | 1,559 | 1,544 |
| Олеиновая | 44,643 | 43,957 | 44,134 | 43,920 | 42,602 |
| Линолевая | 25,959 | 26,768 | 26,225 | 26,039 | 26,164 |
| γ-линоленовая | 0,009 | 0,007 | 0,016 | 0,019 | 0,068 |
| α-линоленовая | 11,745 | 11,700 | 11,925 | 12,181 | 13,073 |
| Арахидиновая | 0,466 | 0,464 | 0,460 | 0,465 | 0,461 |
| Годоиновая | 2,955 | 2,926 | 2,956 | 3,038 | 3,317 |
| Эйкозодиеновая | 0,177 | 0,178 | 0,169 | 0,183 | 0,215 |
| Арахидиновая | 0,015 | 0,015 | 0,021 | 0,033 | 0,073 |
| Бегеновая | 0,327 | 0,331 | 0,326 | 0,339 | 0,296 |
| Эруковая | 7,853 | 7,752 | 7,855 | 7,862 | 7,648 |
| Докозодиеновая | 0,026 | 0,026 | 0,031 | 0,031 | 0,018 |
| Докозатриеновая | 0,033 | 0,033 | 0,035 | 0,038 | 0,049 |
| Лигноцеридиновая | 0,216 | 0,207 | 0,220 | 0,190 | 0,206 |
| Нервоновая | 0,525 | 0,511 | 0,521 | 0,511 | 0,500 |

Содержание ВЖК в озвученном льняно-минеральном топливе

| Наименование ВЖК | Относительное содержание ВЖК, % | | | | |
|-------------------|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | доля масла в смеси, % | | | | |
| | 100 | 90 | 75 | 50 | 25 |
| Миристиновая | 0,036 | 0,034 | 0,032 | 0,035 | 0,076 |
| Пентадекановая | 0,014 | 0,014 | 0,014 | 0,015 | 0,026 |
| Пальмитиновая | 5,256 | 5,272 | 5,285 | 5,280 | 5,566 |
| Пальмитоолеиновая | 0,074 | 0,074 | 0,071 | 0,069 | 0,082 |
| Стеариновая | 3,649 | 3,646 | 3,646 | 3,669 | 3,525 |
| Олеиновая | 15,566 | 15,635 | 15,553 | 15,479 | 15,616 |
| Линолевая | 69,041 | 68,960 | 69,282 | 69,135 | 67,754 |
| γ-линоленовая | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,013 | 0,050 |
| α-линоленовая | 5,399 | 5,391 | 5,252 | 5,345 | 5,981 |
| Арахидиновая | 0,153 | 0,154 | 0,146 | 0,165 | 0,225 |
| Годоиновая | 0,259 | 0,257 | 0,224 | 0,266 | 0,465 |
| Эйкозодиеновая | 0,062 | 0,068 | 0,055 | 0,062 | 0,095 |
| Арахидононовая | 0,022 | 0,019 | 0,017 | 0,022 | 0,054 |
| Бегеновая | 0,172 | 0,170 | 0,153 | 0,152 | 0,129 |
| Эруковая | 0,039 | 0,046 | 0,028 | 0,044 | 0,121 |
| Докозодиеновая | 0,018 | 0,016 | 0,016 | 0,009 | 0,002 |
| Докозатриеновая | 0,005 | 0,003 | 0,003 | 0,005 | 0,010 |
| Лигноцериновая | 0,078 | 0,077 | 0,068 | 0,084 | 0,056 |
| Нервоновая | 0,160 | 0,165 | 0,158 | 0,158 | 0,170 |

Обработка растительных масел и ДСТ ультразвуком с частотой излучения 44 кГц привела к изменению в них содержания того или иного вида ВЖК.

Так, при обработке рыжикового масла ультразвуком произошло увеличение процентного содержания стеариновой (с 2,3 до 2,475%), докозатриеновой (с 0,24 до 0,376%) и нервоновой (с 0,03 до 0,512%) кислот, с одновременным уменьшением содержания линолевой (с 24,29 до 24,066%), α-линоленовой (с 36,92 до 36,625%), докозодиеновой (с 0,24 до 0,019%) и лигноцериновой (с 0,5 до 0,182%) кислот по сравнению с натуральным (необработанным ультразвуком) маслом. Аналогичная динамика наблюдается и при обработке ультразвуком рыжико-минерального топлива.

При обработке сурепного масла ультразвуком произошло увеличение процентного содержания олеиновой (с 44,564 до 44,643%), лигноцериновой (с 0,154 до 0,216%), с одновременным уменьшением содержания α-линоленовой (с 11,954 до 11,745%) кислоты по сравнению с натуральным (необработанным ультразвуком) маслом. При этом необходимо отметить, что при обработке ультразвуком сурепно-минерального топлива динамика несколько меняется. Так, например, при обработке ультразвуком сурепно-минерального топлива с долей масла в смеси равной 25% отмечается увеличение содержания α-линоленовой (с 11,907 до 13,073%), годоиновой (с 2,947 до 3,317%) и эйкозодиеновой (с 0,135 до 0,215%) кислот, с одновременным уменьшением содержания олеиновой (с 43,854 до 42,602%), линолевой (с 26,427 до 26,164%), бегеновой (с 0,373 до 0,296%) и эруковой (с 7,856 до 7,648%) кислот.

При обработке льняного масла ультразвуком произошло увеличение процентного содержания α-линоленовой (с 5,016 до 5,399%) и годоиновой (с 0,142 до 0,259%) кислот, с одновременным уменьшением содержания линолевой (с 69,509 до 69,041%) и лигноцериновой (с 0,181 до 0,078%) кислот по сравнению с натуральным (необработанным ультразвуком) маслом. Аналогичная динамика наблюдается и при обработке ультразвуком рыжико-минерального топлива.

Таким образом, в результате лабораторных исследований определён жирнокислотный состав натуральных и озвученных масел (рыжикового, сурепного и льняного) и ДСТ на их основе. Использование полученных результатов позволяет определить теплотворные свойства исследованных масел и ДСТ и рассчитать основные показатели рабочего процесса дизеля.

Библиографический список

1. Федоренко, В. Ф. Результаты испытаний и перспективы эксплуатации дизелей на биотопливе / В. Ф. Федоренко, Д. С. Буклагин, С. А. Нагорнов, А. П. Зазуля. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 136 с.
2. ГОСТ Р 52808-2007. Нетрадиционные технологии. Энергетика биотопливо. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2008. – 25 с.
3. Уханов, А. П. Рапсовое биотопливо : монография / А. П. Уханов, В. А. Рачкин, Д. А. Уханов. – Пенза : РИО ПГСХА, 2008. – 229 с.

4. Савельев, Г. С. Производство и использование биодизельного топлива из рапса : монография. – М. : ГНУ ВИМ, 2007. – 96 с.
5. Уханов, А. П. Дизельное смешанное топливо : монография / А. П. Уханов, Д. А. Уханов, Д. С. Шеменев. – Пенза : РИО ПГСХА, 2012. – 147 с.
6. Киреева, Н. С. Обоснование использования биотопливных композиций в качестве моторного топлива на тракторах сельскохозяйственного назначения : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Киреева Наталья Сергеевна. – Пенза : ПГСХА, 2009. – 19 с.
7. Голубев, В. А. Эффективность использования тракторного агрегата при работе на горчишно-минеральном топливе : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Голубев Владимир Александрович. – Пенза : ПГСХА, 2012. – 23 с.
8. Уханов, А. П. Работа тракторного дизеля на смешанном топливе / А. П. Уханов, Д. А. Уханов, В. А. Рачкин, В. А. Иванов // Улучшение эксплуатационных показателей автомобилей, тракторов и двигателей : сб. науч. тр. Международной НТК. – СПб. : СПбГАУ, 2008. – С. 103-109.
9. Уханов, А. П. Экспериментальная оценка влияния смешанного топлива на показатели рабочего процесса дизеля / А. П. Уханов, Е. А. Сидоров, Л. И. Сидорова, Е. Д. Година // Известия Самарской ГСХА. – 2012. – №3. – С. 33-38.
10. Уханов, А. П. Оценка влияния смешанного редьково-минерального топлива на эффективные показатели дизеля / А. П. Уханов, Е. А. Сидоров, Л. И. Сидорова, Е. Д. Година // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники : сб. материалов 25 Международного науч.-техн. семинара им. В. В. Михайлова. – Саратов : СГАУ, 2012. – С. 267-272.

УДК 621.436

ВЛИЯНИЕ СМЕСЕВЫХ МИНЕРАЛЬНО-РАСТИТЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ НА РЕСУРС ПРЕЦИЗИОННЫХ ПАР ТОПЛИВОПОДАЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Бычинин Александр Павлович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Тракторы и автомобили» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

Тел.: 8(846-63)46-3-46.

Бычинина Марина Александровна, соискатель кафедры «Тракторы и автомобили» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

Тел.: 8(846-63)46-3-46.

Ключевые слова: топливо, смешанное, минерально-растительное, пара, прецизионная, ресурс, двигатель, дизельный.

Представлены теоретические предпосылки повышения ресурса прецизионных пар при использовании смешанных минерально-растительных топлив. Приведены методика и результаты поисковых исследований противоположных свойств минерально-растительных топлив.

Тракторы, оснащенные дизельными двигателями внутреннего сгорания, в настоящее время являются основными энергетическими средствами в сельском хозяйстве Российской Федерации. Автомобильный парк, особенно большегрузный, также характеризуется широким использованием двигателей с внутренним смешением и самовоспламенением от сжатия, что приводит к ежегодному росту потребления дизельных моторных топлив. Гибридные силовые установки в этих отраслях широкого применения пока что не находят, поэтому возникает проблема экономии невозобновимых запасов нефти, из которой и производится подавляющее большинство современных жидких топлив на углеводородной основе. Наиболее актуальным и перспективным способом решения данной проблемы является частичное или полное замещение минеральных топлив топливом синтетическими, либо биологического происхождения. Таким изысканиям посвящено значительное количество научных работ, однако вопрос влияния альтернативных энергоносителей на ресурс топливоподающей аппаратуры рассмотрен недостаточно широко.

Цель исследования – оценить влияние смешанных минерально-растительных топлив на повышение ресурса прецизионных пар дизельной топливной аппаратуры. Исходя из поставленной цели, в задачи исследования входило: провести краткий анализ видов альтернативных топлив и способов их использования в автотранспортной технике; теоретически обосновать влияние смешанных минерально-растительных топлив на режим трения в прецизионных парах дизельной топливоподающей аппаратуры; экспериментально оценить влияние смешанных минерально-растительных топлив на диаметр пятна износа при испытаниях на четырехшариковой машине трения МАСТ-1 на примере смешанных топлив на основе рапсового, горчишкового, рыжикового и льняного масел.

Помимо традиционных нефтяных моторных топлив в настоящее время во многих странах идет активное освоение альтернативных энергоносителей. Чаще всего это попутный нефтяной или природный газ, используемый как в чистом виде при оснащении двигателей соответствующим оборудованием, так и в качестве сырья для получения синтетических жидких топлив. Для тех же целей достаточно широко используется уголь. Еще одним распространенным исходным сырьем для получения синтетических топлив является биомасса, используемая для переработки в биоэтанол. Однако такое топливо предназначено в основном для использования в двигателях, с принудительным зажиганием в чистом виде или в качестве добавок к бензинам. Для производства биоэтанола в Бразилии используется сахарный тростник, в США и Европе – кукуруза, однако для этих целей возможно использование и других культур, таких как сорго, сахарная свекла, ячмень, пшеница [1]. Использование таких топлив в дизельных двигателях ограничено, так как требуется использование одновременно двух топливных систем: для подачи газа во впускной коллектор, и для подачи запальной дозы дизельного топлива через стандартную топливopодающую аппаратуру (ТПА). К тому же возникает проблема детонации, не свойственная дизельным двигателям при работе на чистом дизельном топливе.

На первом месте среди альтернативных топлив органического происхождения в настоящее время стоит биодизель – метиловый эфир рапсового масла (МЭРМ). Получают его при взаимодействии рапсового масла с метанолом в присутствии катализатора – гидроксида калия (KOH) и фосфатида (H_3PO_4). Такое топливо может использоваться в дизельных двигателях в чистом виде, однако для его получения требуется сложное химическое производство [2].

Самым рациональным способом использования альтернативных энергоносителей является применение в автотракторной технике смесевых минерально-растительных топлив, представляющих собой смеси дизельного топлива с растительными маслами в разных пропорциях. В качестве компонентов таких топлив широко используются рапсовое, сурепное, рыжиковое, горчичное и другие растительные масла. Наиболее распространено использование рапсового масла. В настоящее время некоторые производители тракторной техники оснащают свою продукцию серийными двигателями, адаптированными к альтернативным топливам. Например, фирма New Holland предлагает линейку тракторов Т6000, двигатели которых приспособлены к работе со 100% биодизелем. Тракторы серии Т7000 совместимы с 20%-м биодизельным горючим типа В20. Комбайн Claas Tucano оснащается двигателем, адаптированным к использованию МЭРМ. Серия тракторов Fendt 820 Vario Green Tech оснащена серийной двухтопливной системой питания, позволяющей использовать в качестве топлива 100%-е рапсовое масло холодного отжима.

Популярность рапсового масла в качестве альтернативного энергоносителя обусловила появление достаточно большого количества работ, посвященных адаптации дизельных двигателей к его использованию в качестве топлива, либо его компонента. Например, В. Н. Фомин [3] пришел к выводу, что наиболее оптимальным составом смесевого минерально-растительного топлива на основе рапсового масла является смесь 70% ДТ + 30% РМ (в объемных долях). При этом мощностные показатели двигателя снижаются незначительно (5,6-8,5%), расход смесевого топлива по сравнению с минеральным увеличивается на 10%, и обеспечивается снижение дымности на 44.

Изменение физико-химических свойств смесевых топлив по сравнению с товарным ДТ приводит к необходимости адаптации ТПА. Например, А. С. Аверьянов [4] предлагает устройство, улучшающее параметры топливopдачи при работе дизеля на смесевом топливе, встроенное непосредственно в штатный все-режимный регулятор насоса типа УТН-5. Устройство осуществляет корректирование цикловой подачи по вязкостно-температурной характеристике и позволяет использовать смесевое топливо с объемным содержанием рапсового масла 50-75% при его подогреве до 80°C.

Также достаточно большое количество работ посвящено технологии получения дизельных смесевых топлив с улучшенными свойствами как стационарно, так и непосредственно на тракторах. Однако во всех случаях исследованию трибологических свойств таких топлив уделяется недостаточно внимания.

Рапсовое масло как смазочный материал обладает достаточно высокими противозносными свойствами, что подтверждено в работах В. В. Ефимова и А. Г. Зимина [6, 7]. Здесь рапсовое масло является основой для смазочной композиции, предназначенной для использования в трансмиссии, либо для рабочей жидкости гидросистемы. Однако результаты, показывающие снижение изнашивания золотников гидрораспределителей, позволяют предположить, что рапсовое масло окажет аналогичное действие и на прецизионные пары дизельной ТПА.

Были проведены исследования по влиянию смесевого минерально-растительного топлива на основе рапсового масла на ресурс плунжерных пар ТНВД дизелей [8].

Анализ химического состава растительных масел показывает, что в рапсовом масле содержится значительное количество органических поверхностно-активных веществ, в частности, олеиновых кислот. Данное обстоятельство благоприятствует его использованию в качестве компонента смесевого минерально-растительного топлива, предназначенного для улучшения режима трения прецизионных пар дизельной

топливной аппаратуры. Поверхностно-активные вещества способствуют образованию на поверхности трения защитной пленки, значительно снижающей нагрузку на материал детали, что в результате приводит к уменьшению износа.

Сущностью предлагаемого способа повышения ресурса плунжерных пар ТНВД дизеля является улучшение режима смазывания сопряжения при применении смесового минерально-растительного топлива за счет образования на поверхностях трения демпфирующих пленок органических ПАВ, которые препятствуют внедрению абразивных частиц в материал поверхности трения.

Расчетный метод определения величины износа сопряжения основан на взаимосвязи коэффициента трения в сопряжении, в присутствии смазочной среды с глубиной внедрения абразивной частицы в поверхность трения. Снижение коэффициента трения при абразивном взаимодействии происходит за счет уменьшения глубины внедрения частицы в поверхность металла в результате сопротивления сжатию демпферной пленки ПАВ.

Износ поверхности трения в процессе абразивного изнашивания прецизионных пар дизельной топливной аппаратуры представим в виде функции

$$i = f(T, n, V_{абр}), \quad (1)$$

где i – объемный износ поверхности трения, мм^3 ; T – время работы сопряжения, ч.; n – количество абразивных частиц, проходящих через сопряжение за единицу времени, $1/\text{ч}$; $V_{абр}$ – объем материала, удаленного одной абразивной частицей, мм^3 .

Здесь $V_{абр}$ зависит от глубины внедрения абразивной частицы в материал поверхности трения.

Характерны два случая внедрения абразивной частицы в материал поверхности трения:

- частица под давлением внедряется в поверхность трения – пластическая деформация (рис. 1, а);
- частица под давлением внедряется в поверхность трения и перемещается, оставляя царапину (рис. 1, б).

Принимаем следующие ограничения:

- абразивная частица имеет форму шара со сферической поверхностью внедрения;
- объемный износ равен объему внедренной части абразивной частицы;
- внедрение абразивной частицы является постоянным на всем пути ее перемещения.

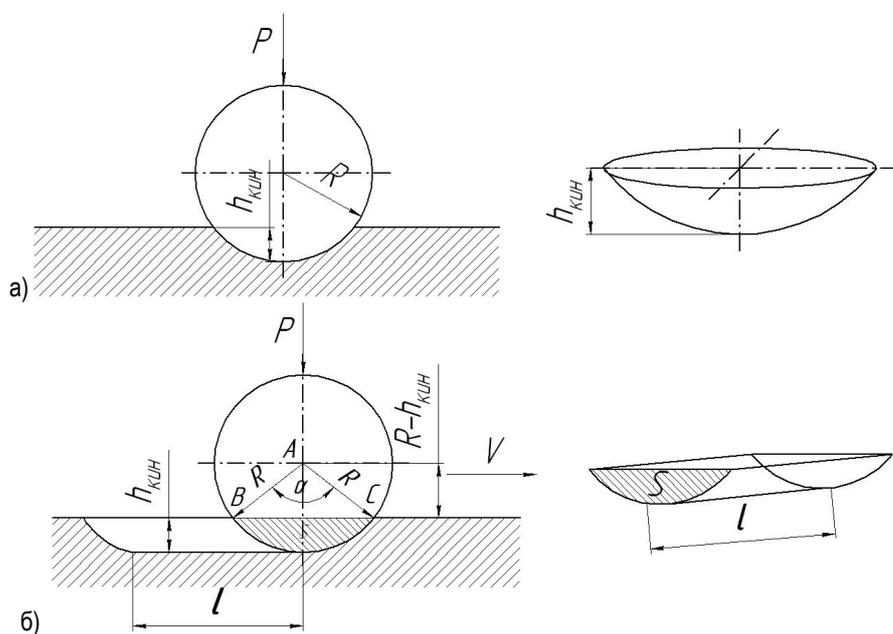


Рис. 1. Внедрение абразивной частицы в поверхность трения:

- а – расчетная схема для определения объема внедрения абразивной частицы в поверхность трения;
 б – расчетная схема для определения объема внедрения абразивной частицы и объема удаленного материала при образовании царапины

В первом случае предлагается следующая формула для определения объемного износа поверхности трения:

$$i = \psi_1 f^4 (1 - 2,08 f^2), \quad (2)$$

где f – коэффициент трения; ψ_1 – коэффициент, характеризующий влияние геометрических размеров абразивных частиц, их количества, попадающего в сопряжение в единицу времени, и времени работы сопряжения на параметры трения и изнашивания поверхностей [8].

Во втором случае формула для определения объемного износа поверхности трения имеет следующий вид:

$$i = f^4 \cdot [\psi_1 \cdot (1 - 2,08f^2) + \psi_2], \quad (3)$$

где ψ_2 – коэффициент, характеризующий влияние на параметры трения геометрических размеров абразивных частиц, их количества, попадающего в сопряжение в единицу времени, и времени работы при движении абразивных частиц в сопряжении, сопровождающемся микрорезанием [8].

Из формул (2) и (3) видно, что на величину износа сопряжения влияют не только условия работы деталей (количество и размер частиц, время работы), но и условия смазывания.

Для характеристики условий смазывания введем универсальный показатель – коэффициент абразивной агрессивности смазочной среды k :

$$k = \frac{f}{f_0}, \quad (4)$$

где f – коэффициент трения в сопряжении при смазывании смесевым минерально-растительным топливом; f_0 – коэффициент трения в сопряжении при смазывании эталонным смазочным материалом.

Коэффициент абразивной агрессивности смазочной среды – это отношение коэффициента трения в сопряжении при смазывании смесевым минерально-растительным топливом к коэффициенту трения в сопряжении при смазывании эталонным смазочным материалом. В нашем случае за эталонный смазочный материал принято товарное зимнее дизельное топливо при отсутствии абразивных загрязнений.

Коэффициент абразивной агрессивности позволяет определять трибологические свойства смазочной среды исходя из состава смесового минерально-растительного топлива и наличия абразивных примесей, а также изменять их, приближая трибологические качества смесового минерально-растительного топлива к эталонным, в зависимости от условий работы.

В таком случае износ будет выражаться формулой

$$i = k^4 f_0^4 [\psi_1 (1 - 2,08k^2 f_0^2) + \psi_2]. \quad (5)$$

Проведенный анализ результатов многофакторного эксперимента по определению коэффициента абразивной агрессивности смазочной среды позволил составить уравнение регрессии следующего вида:

$$k = 0,957 - 0,00456 \cdot \gamma_p + 5,333 \cdot \gamma_a + 0,000049 \cdot \gamma_p^2 - 4,444 \cdot \gamma_a^2 - 0,058 \cdot \gamma_p \cdot \gamma_a, \quad (6)$$

где γ_p – концентрация рапсового масла в смесовом топливе, % по объему; γ_a – концентрация абразивных частиц в смесовом топливе, % по массе.

По уравнению (6) и построена поверхность отклика (рис. 2, а).

Данная закономерность подтверждается результатами ускоренных износных испытаний насосов типа УТН-5 на модернизированном стенде КИ-921М и ресурсных испытаний на стенде специальной конструкции [8]. Максимальный износ сопряжения получен при значении коэффициента абразивной агрессивности $k=0,86$ при использовании смесового минерально-растительного топлива следующего состава: 70% дизельного топлива + 30% рапсового масла по объему. Срок службы сопряжения при использовании смесового минерально-растительного топлива ($k=0,86$) увеличился в 1,27 раза [8].

Полученные результаты подтверждены в работе Е. Г. Ротанова [9]. Автор рекомендует в качестве рациональной смеси 50% ДТ + 50% РМ, однако в этом случае требуется изменение конструктивных показателей ТПА либо подогрев смесового топлива.

Также в качестве компонентов альтернативного топлива возможно и использование других растительных масел, как возобновляемого ресурса. Например, работа В. А. Голубева [10] посвящена использованию горчишно-минерального топлива. Согласно результатам исследования, по показателям рабочего процесса, индикаторным и эффективным показателям дизеля и эксплуатационным показателям трактора рациональным является смесовое топливо 25% ГорМ + 75% ДТ; по экологическим и экономическим показателям – топливо 50% ГорМ + 50% ДТ.

Анализ химического состава различных растительных масел (рапсового, сурепного, горчичного, льняного, рыжикового и др.) показал, что все они содержат значительное количество непредельных жирных кислот, являющихся поверхностно-активными веществами. Можно в таком случае предположить, что

использование этих масел в качестве компонентов смесового моторного топлива положительно скажется на его трибологических свойствах и позволит повысить ресурс прецизионных пар дизельной ТПА. В связи с этим в учебно-научно-исследовательской лаборатории «Повышение надежности и эффективности механических систем» СГСХА были проведены поисковые исследования смесовых топлив с концентрацией растительных масел до 50% по объему (рис. 3) на примере льняного, рыжикового и горчичного масла, подтвердившие справедливость этого предположения.

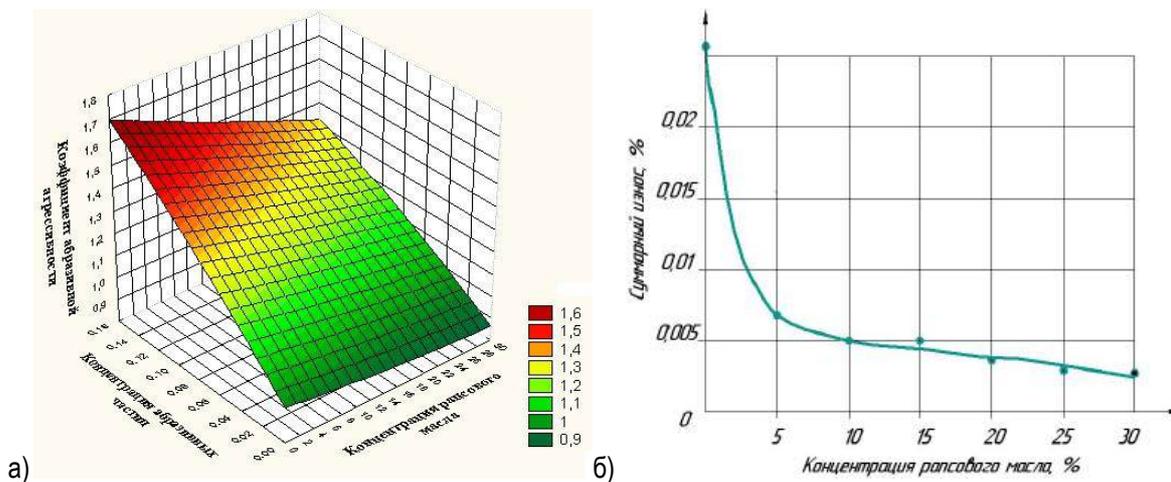


Рис. 2. Зависимость коэффициента абразивной агрессивности от содержания абразивных частиц и рапсового масла в смесовом минерально-растительном топливе (а) и зависимость суммарного износа сопряжения от концентрации рапсового масла в смесовом минерально-растительном топливе (б)

Испытания проводились на четырехшариковой машине трения МАСТ-1 по следующей методике: частота вращения вала – 2000 мин⁻¹; нагрузка – 50 Н; время испытания – 20 мин. В каждом цикле испытаний использовались одни и те же шарики, которые выдерживались в испытуемой смазочной среде не менее одного часа.

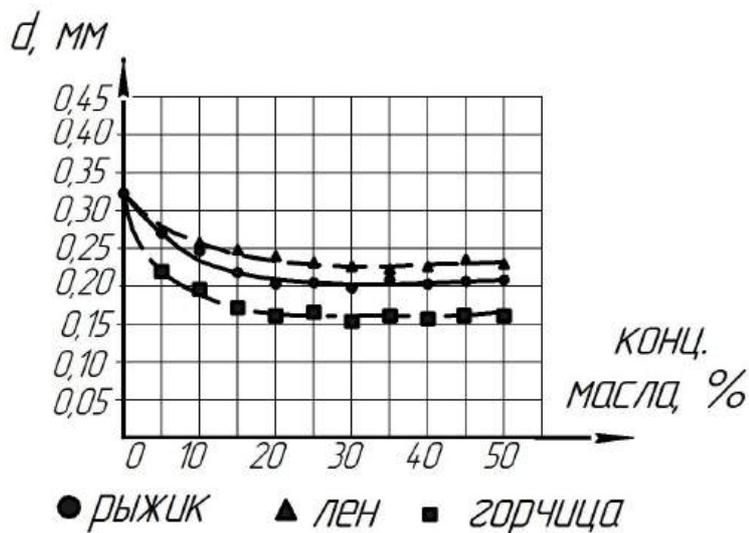


Рис. 3. Результаты испытаний смесовых топлив на четырехшариковой машине трения МАСТ-1

Из анализа результатов исследований, представленных графиком (рис. 3), можно сделать вывод, что все растительные компоненты оказывают положительное влияние на трибологические свойства смесовых минерально-растительных топлив, о чем говорит уменьшение диаметра пятна износа с увеличением концентрации растительного компонента. Предварительно также можно заключить, что с точки зрения повышения противоизносных свойств топлива наиболее рациональным является использование в качестве компонента смесового топлива горчичного масла. Такие смеси показали наименьший диаметр пятна износа по сравнению с остальными. Однако эти данные требуют уточнения в процессе последующих испытаний на роликовой машине трения и в стендовых испытаниях с использованием ТНВД.

Анализ видов альтернативных моторных топлив и способов их использования в автотракторной технике показал, что наиболее рационально использование смесевых топлив на основе растительных компонентов. Они позволяют экономить нефтепродукты и одновременно улучшают режим трения прецизионных пар дизельной топливоподающей аппаратуры. Приведены теоретические предпосылки уменьшения абразивного изнашивания плунжерных пар при смазывании их смесевым минерально-растительным топливом на основе рапсового масла, содержащего поверхностно-активные вещества органического происхождения, а также результаты лабораторных исследований, подтверждающие их. Поисковые исследования на четырехшариковой машине трения МАСТ-1 показали также перспективность топлив на основе рыжикового, льняного и горчичного масел. При этом смесевые топлива на основе горчичного масла обладают наилучшими противозносными свойствами.

Библиографический список

1. Федоренко, В. Ф. Состояние и развитие производства биотоплива / В. Ф. Федоренко, Ю. Л. Колчинский, Е. П. Шилова. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – 130 с.
2. Уханов, А. П. Рапсовое биотопливо / А. П. Уханов, В. А. Рачкин, Д. А. Уханов. – Пенза : РИО ПГСХА, 2008. – 229 с.
3. Фомин, В. Н. Повышение технико-экономических показателей автотракторных дизелей, работающих на минерально-растительном топливе : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Фомин Вадим Николаевич. – Ульяновск : Башкирский ГАУ, 2011. – 18 с.
4. Аверьянов, А. С. Улучшение параметров топливоподачи дизеля при работе на смесевом рапсово-минеральном топливе : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Аверьянов А. С. – Пенза : ПГСХА, 2013. – 19 с.
5. Улюкина, Е. А. Улучшение эксплуатационных свойств современных и перспективных моторных топлив для сельскохозяйственной техники : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.03 / Улюкина Елена Анатольевна. – М. : МГАУ, 2012. – 33 с.
6. Ефимов, В. В. Обеспечение эксплуатационной надежности гидросистем сельскохозяйственной техники при использовании рапсового масла в качестве рабочей жидкости : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ефимов Владислав Викторович. – Саранск : МГУ им. Н. П. Огарева, 2001. – 18 с.
7. Зимин, А. Г. Очистка рапсового масла и улучшение его противозносных свойств для использования в сельскохозяйственной технике : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Зимин Александр Геннадьевич. – Мичуринск : Мичуринский ГАУ, 2011. – 21 с.
8. Быченин, А. П. Повышение ресурса плунжерных пар топливного насоса высокого давления тракторных дизелей применением смесевое минерально-растительного топлива : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Быченин Александр Павлович. – Пенза : ПГСХА, 2007. – 172 с.
9. Ротанов, Е. Г. Снижение износа плунжерных пар ТНВД применением рационального состава дизельного смесевое топлива : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Ротанов Евгений Геннадьевич. – Пенза : ПГСХА, 2012. – 19 с.
10. Голубев, В. А. Эффективность использования тракторного агрегата на горчично-минеральном топливе : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Голубев Владимир Александрович. – Пенза : ПГСХА, 2012. – 21 с.

УДК 621.791

О ВОЗМОЖНОСТИ ФОРМАЛИЗАЦИИ МЕТОДОВ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ХОЛОДНЫХ ТРЕЩИН ПРИ СВАРКЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Кубейсинов Мирослав Какенович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Энергетика» Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана.

090000, Республика Казахстан, Западно-Казахстанская область, г. Уральск, ул. 8 Марта, 131.

Тел.: 8 (7112)51-43-96.

Ключевые слова: сварка, сталь, холодные, трещины, стандартизация.

Рассмотрена возможность и предложена модель формализации методов предотвращения холодных трещин в стандартах по сварке высокопрочных низколегированных сталей.

Современная направленность мировой практики на изготовление металлоконструкций из высокопрочных низколегированных сталей делает проблему формализации методов идентификации и оценки рисков появления холодных сварочных трещин особенно актуальной [2, 3].

Цель исследований – выявить возможность формализации методов предотвращения образования холодных трещин при сварке сталей.

Задачи исследований – сравнить методы оценки возможности образования холодных трещин, выявить возможность обобщения этих методов.

Оценка появления холодных трещин как следствие мартенситных превращений нашла отражение в применении таких косвенных критериев, как эквивалент углерода CEV и параметр нормирования трещины R_{ct} [1].

В то же время, современная практика весьма осторожно подходит к применению указанных выше критериев, что связано:

- с тем, что поведение стали в течение и после сварки будет зависеть не только от химического состава стали, но также от использованных расходных материалов для сварки и от условий подготовки и проведения сварки;
- с современными исследованиями в области холодных сварочных трещин, результаты которых оценивают мартенситные превращения только как один из основных факторов, способствующих образованию холодных трещин.

Стандарт ИСО в области сварки трубопроводов [2], учитывая фактор мартенситных превращений требованиям измерений твердости, устанавливает требование обеспечивать величину твердости в зоне термического влияния не более 350 по Виккерс.

Одновременно стандарт ИСО [2] устанавливает требования:

- подвергнуть неразрушающему контролю пробные сварные швы для утверждения сварочных процедур, применяемых в заводских условиях, минимум через 24 ч после завершения сварки;
- учитывать необходимость применения нагрева после сварки для удаления водорода;
- строго соблюдать установленный процедурой сварки промежуток времени между начальной заваркой корня шва и вторым проходом при применении материалов и проведении сварки в условиях, когда процесс наводороживания не находится под контролем, например, при применении электродов с целлюлозным покрытием;

Стандарт ИСО [2] также устанавливает, что для марок стали с увеличенной восприимчивостью к замедленному водородному растрескиванию вследствие сварки, например, при заданном минимальном пределе текучести 556 МПа или выше, сварочные процедуры могут быть составлены с учетом предотвращения образования холодных трещин. При этом в стандарте отмечается, что при сварке труб из таких марок стали может потребоваться применение особых процессов обработки для снижения содержания водорода, например, термическая обработка после сварки и задержки по времени до приемочного контроля.

Между тем, сопоставление стандартов ГОСТ ИСО 3183-3-2007 и ISO 13847:2000 [1, 2] показывает, что количественные методы оценки возможности образования холодных трещин указанные стандарты не устанавливают. Приведенный в указанных стандартах метод расчета эквивалента углерода подверг критике Э. Л. Макаров и др. [3]:

- для статистических данных зависимости величины твердости от CEV характерен значительный разброс в 50-100%;
- при частичной закалке, что характерно для сварочных процессов, взаимосвязь твердости и CEV зависит от скорости охлаждения, и чем меньше скорость охлаждения, тем выше влияние легирующих компонентов на упрочнение стали относительно углерода, т.е. для каждой скорости охлаждения должны быть свои коэффициенты при легирующих элементах;
- показатель твердости в околосварочной зоне не может служить критерием склонности к образованию трещин, так как указывает ориентировочно только на состав структуры, тогда как на образование холодных трещин влияет размер аустенитного зерна, микрохимическая неоднородность зерна закаленной структуры, количество и характер неметаллических включений, содержание водорода.

Метод оценки склонности к образованию холодных трещин на основе расчета параметра нормирования трещины R_{ct} [1, 2] внешне схож со способом оценки по эквиваленту углерода, причем его применение в виде, приведенном в ГОСТ ИСО 3183-3-2007 и ISO 13847:2000 [1, 2], не позволяет учитывать следующие факторы: содержание диффузионного водорода в наплавленном металле и его локализацию в зонах концентрации напряжений; погонную энергию сварки; «жесткость» и конструктивные особенности сварного соединения; усадочные явления при сварке.

Изложение применения параметра нормирования трещины R_{ct} в ГОСТ ИСО 3183-3-2007 и ISO 13847:2000 [1, 2] отличается от «классического метода», основанного на стандартной пробе Тэккен и позволяющего определять уровень минимальной температуры предварительного подогрева сварного соединения для пробы Тэккен.

Для сварных соединений других конструкций, при использовании «классического метода», применяют понятие «температурно-временной фактор», учитывающий интенсивность выделения водорода из сварного шва. При этом прямые методы оценки возможности образования холодных трещин, учитывающие такие же факторы и условия проведения сварки, как и в стандартной пробе Тэккен, регламентированы в ГОСТ Р ИСО 17642-1-2011 [5].

Процедуры, принятые указанными стандартами, позволяют определить экспериментальным путем наименьшие значения погонной энергии сварки, температур предварительного, сопутствующего нагревов и нагрева после окончания сварки, наибольшее содержание диффузионного водорода и величину критического напряжения.

Таким образом, ГОСТ ИСО 3183-3-2007 и ISO 13847:2000 [1, 2] не позволяют расчетным путем учесть все факторы, способствующие образованию холодных трещин, и произвести расчет параметров необходимых технологических воздействий, например, температуры предварительного подогрева и т.д.

Тенденция на замену экспериментальных методов определения склонности металла при сварке к образованию холодных трещин расчетными методами, в принципе, основывается на экспериментальном выявлении основного фактора, способствующего появлению трещин.

Так, в работах Э. Л. Макарова, Д. С. Розанова [3, 7] к оценке стойкости к образованию трещин при сварке высокопрочных низколегированных сталей, зонам термического влияния которых типична бейнитно-мартенситная и бейнитная структуры типов, подходят, принимая, что наиболее значимым фактором для образования холодных трещин является диффузионный водород.

Разработанная расчетная методика позволяет рассчитать величины температур предварительного, сопутствующего и последующего нагревов сварного соединения.

Исследования механизма образования холодных трещин при двухдуговой автоматической сварке высокопрочных среднелегированных сталей в защитных газах [4] отмечают важность учета напряжений II рода. Влияние структуры на вероятность образования холодных трещин подчеркивается в работе С. Н. Гончарова [4]. Причем, отмечается, что среди основных факторов, способствующих образованию холодных трещин, наиболее сложным для учёта является структурный фактор. Влияние структурного фактора учитывается размером бывшего аустенитного зерна, процентным содержанием в структуре металла составляющих мартенситно-бейнитного типа, свойства которых зависят от химического состава и, в первую очередь, от содержания углерода [6].

Учет всех основных факторов позволяет подобрать при сварке режимы, позволяющие отказаться от предварительного и последующего нагревов [6].

Между тем, попытки производить оценку возможности образования холодных трещин расчетным путем с учетом всех возможных факторов при стандартизации процессов сварки привели к созданию стандарта ISO/TR 17844:2004 Welding – Comparison of standardized methods for the avoidance of cold cracks (Сварка. Сопоставление стандартизованных методов предотвращения холодных трещин) [8]. Анализ стандарта демонстрирует существование различных подходов к оценке влияния основных факторов на вероятность образования холодных трещин и выбору приоритетного фактора.

Установленные авторами методик требования к областям применения расчетных способов позволяют отнести их к оценке свариваемости высокопрочных низколегированных сталей.

Стандарт ISO/TR 17844:2004 [8] выделяет следующие основные факторы: химический состав стали, тепловложение (эффективная погонная энергия), форму и размеры сварного соединения и толщину материала, уровень содержания водорода в сварном шве, предварительный подогрев.

ISO/TR 17844:2004 [8] сравнивает четыре метода:

- CE (EN 1011-1:2009 Welding – Recommendations for welding of metallic materials – Part 1: General guidance for arc welding (Сварка. Рекомендации по сварке металлических материалов. Часть 1. Общее руководство по сварке электрической дугой);
- EN 10025-1:2004 2) European structural steel standard – Part 1);
- CET (EN 1011-2:2001 Welding – Recommendations for welding of metallic materials – Part 2: Arc welding of ferrite steels (Сварка. Рекомендации по сварке металлических материалов. Часть 2. Дуговая сварка ферритных сталей);
- CEN (JIS B 8285);
- Pcm (ANSI/AWS D1.1).

Общим для всех методов является оценка углеродного эквивалента, внесение водорода сварочным материалом и видом сварки, учет толщины листа, вид сварного соединения.

Сопоставление указанных методов производилось на сравнении рассчитываемых величин температур предварительного подогрева сварного соединения. При этом варьировались типы сталей, их химический состав, диапазоны допустимых уровней содержания водорода, толщины листов и сравнивались два вида сварных швов – это стыковые и угловые.

Результаты сравнения перечисленных в ISO/TR 17844:2004 [8] методов можно свести к следующему: величины температур предварительного подогрева различаются, причем различия ощутимы для высокопрочных низколегированных сталей. В связи с этим ISO/TR 17844:2004 [8] рекомендует – какой бы ни был выбран метод как обеспечивающий наилучшее приближение к практической ситуации, он должен

использоваться для определения предварительных условий сварки, которые будут впоследствии проверяться соответствующим испытанием технологического процесса сварки. При этом необходимо отметить следующие риски, вытекающие из рассмотрения текста ISO/TR 17844:2004 [8].

Для метода CE характерен разброс при оценке содержания уровня водорода при использовании электродов с основным покрытием. Метод также не гарантирует предотвращение образования холодных трещин при возникновении факторов – таких как содержание марганца более 1,5%, больших значений эффективной погонной энергии, при низких значениях углеродного эквивалента. Метод также не учитывает влияние неметаллических включений и обычно прогнозирует более низкие температуры предварительного подогрева.

СЕТ-метод дает более высокие величины температур предварительного подогрева, чем СЕ-метод и не учитывает влияние остаточных напряжений и неметаллических включений. Методу в сравнении с другими методами характерна более детальная проработка влияния факторов образования холодных трещин.

СЕН-метод применительно к высокопрочным низколегированным сталям предсказывает более высокие температуры предварительного подогрева, чем СЕТ-метод. Метод недостаточно разработан в части учета влияния водорода в зоне термического влияния.

Рст-метод предусматривает два подхода при оценке необходимого уровня температуры предварительного подогрева: 1) через оценку значения твердости зоны термического влияния; 2) через оценку содержания водорода в сварочном соединении.

Риски Рст-метода с учетом значения твердости зоны термического влияния раскрыты в работе Э. Л. Макарова и др. [3] и подтверждаются информацией ISO/TR 17844:2004 [8] о предпочтительности применения метода для нелегированных углеродистых и углеродисто-марганцевых сталей. Влияние водорода и остаточных напряжений данный метод не учитывает.

Рст-метод – метод, построенный на оценке содержания водорода в сварочном соединении, разработан применительно к высокопрочным низколегированным сталям.

В отличие от него, метод, изложенный в работе Э. Л. Макарова и др. [3], учитывает распределение и кинетику десорбции диффузионного водорода в сварном соединении, что позволяет точнее прогнозировать температуру и время выдержки при нагреве, и избежать неоправданно большие энергозатраты.

Необходимо отметить, что упоминаемое в ISO/TR 17844:2004 [8] применение аустенитных электродов как способа снижения влияния водорода, как фактора образования холодных трещин, из-за его способности играть роль «ловушки» для водорода, требует некоторой осторожности в виду того, что сам аустенит может в некоторых случаях служить потенциальным источником водорода в металле шва.

Также недостатком ISO/TR 17844:2004 [8] и других стандартов в области сварки является недостаточное внимание к материаловедческим методам снижения влияния водорода, таким как применение сварочных материалов, легированных титаном, бором, редкоземельными элементами, регулирование содержания и дисперсности в сварном шве неметаллических включений – сульфидов и оксидов.

Факт негативного влияния уменьшения содержания неметаллических включений, таких как сульфиды, но также и оксиды, отмечается в ISO/TR 17844:2004 [8]. Отмечается, что уменьшение содержания неметаллических включений в стали, главным образом уменьшение включений серы, но также и содержания кислорода, может привести к риску повышения твердости зоны термического влияния и, возможно, увеличению вероятности образования водородных трещин в ней. Точная оценка риска не указывается.

Таким образом, анализ расчетных методов оценки образования холодных трещин показывает:

- вопрос применения того или иного метода определяется опытом специалиста сварочного производства в области конкретного использования;
- при этом существует неопределенность в вопросе выявления степени влияния того или иного фактора на образование трещин;
- в ходе применения любого из методов имеется вероятность необходимости экспериментальных методов оценки холодных трещин.

Внесение в стандарты по сварке методов экспериментальной оценки сопротивляемости образованию холодных трещин [5] в разделы стандартов касательно требований к испытаниям, обеспечит специалиста сварочного производства практическим инструментарием по выработке режимов сварочных операций, предупреждающих холодные трещины.

Включение в стандарты по сварке ссылок на методы ISO/TR 17844:2004 [8] создаст для специалиста сварочного производства основу для выбора направления поиска основного фактора с последующей постановкой опыта по ее подтверждению.

ISO 13847:2000 [2] установил требование для марок стали с увеличенной восприимчивостью к замедленному водородному растрескиванию вследствие сварки, например, при установленном минимальном пределе текучести 556 МПа или выше, составлять процедуры сварки с учетом предотвращения

образования холодных трещин. Согласно ISO 13847:2000 [2] сварка труб из таких марок стали может также потребовать, чтобы применялись особые процессы обработки для снижения содержания водорода, например, последующая термическая обработка и задержки по времени до приемочного контроля.

Таким образом, ISO 13847:2000 [2] создал прецедент для возможности формализации в стандартах по сварке мероприятий по сопоставлению расчетных методов оценки склонности к образованию холодных трещин и применения экспериментальных методов по проверке сварочных процедур на обеспечение предотвращения образования трещин.

Кроме того, специалист сварочного производства должен быть обеспечен формализованным инструментарием по оценке рисков образования холодных трещин, учитывать как предыдущий опыт сварки в аналогичных условиях и аналогичных конструкций, так и результаты расчетных и экспериментальных исследований сварочной процедуры.

Формализацию такой методологии можно произвести актуализацией в стандартах по сварке положений ГОСТ Р ИСО/ТО 10017-2005 и ГОСТ Р 51901.1-2002 [9, 10], позволяющих предложить специалисту сварочного производства апробированный современной практикой и ставшей признанной практикой инструментарий идентификации и оценки рисков.

Основанием для внесения в стандарты по сварке такого подхода – оценки рисков на основе предыдущего опыта и результатов оценки возможностей образования холодных трещин при разработке сварочной процедуры, является тот признанный факт, что природа влияния того или иного фактора на риски появления трещин не выяснена в полном объеме. При выборе сварочной технологии модель принятия решения всегда несет в себе риск неопределенности.

Формализация алгоритма «сопоставление расчетных методов оценки образования холодных трещин – эксперименты по оценке сопротивлению сварного шва образованию холодных трещин – методология оценки риска выбранной модели на основе учета предыдущего опыта и результатов расчетных и экспериментальных оценок» позволит:

- специалисту сварочного производства быть уверенным в выборе сварочной процедуры;
- организации накопить и формализовать свой уникальный опыт для управления выбором сварочных процедур;
- стандартизировать процедуру управления рисками сварочного производства;
- накопить опыт для современной практики для улучшения расчетных методов по оценке возможности образования холодных трещин.

Библиографический список

1. ГОСТ ИСО 3183-3-2007. Промышленность нефтяная и газовая. Трубы стальные для трубопроводов. Технические условия поставки. Ч. 3: Требования к трубам класса С. – Введ. 2007–12–27. – М. : Стандартинформ. – 41 с.
2. ISO 13847:2000. Промышленность нефтяная и газовая. Системы транспортировки по трубопроводам. Сварка трубопроводов. – Введ. 15.09.00. – М. : Изд-во стандартов, 2000. – 41 с.
3. Макаров, Э. Л. Моделирование процесса перераспределения и десорбции диффузионного водорода при сварке / Э. Л. Макаров, Д. С Розанов // Сварка и Диагностика. – 2009. – №2. – С. 58-59.
4. Гончаров, С. Н. Исследования и разработка технологии двухдуговой автоматической сварки в защитных газах корпусов из высокопрочных среднелегированных сталей : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Гончаров Сергей Николаевич. – Набережные Челны, 2009. – 170 с.
5. ГОСТ Р ИСО 17642-1-2011. Испытания разрушающие сварных швов металлических материалов Испытания на сопротивляемость образованию холодных трещин в сварных соединениях Процессы дуговой сварки. Ч. 1: Общие положения. – Введ. 2011–10–30. – М. : Стандартинформ. – 41 с.
6. Колновалов, А. В. Теория сварочных процессов : учебник для вузов / А.В. Коновалов [и др.] ; под ред. В. М. Неровного. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.
7. Розанов, Д. С. Разработка методики расчета процесса перераспределения и десорбции диффузионного водорода в многослойных сварных соединениях низколегированных сталей : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Розанов Дмитрий Сергеевич. – М., 2011. – 21 с.
8. ISO/TR 17844:2004. Welding – Comparison of standardized methods for the avoidance of cold cracks (Сварка. Сопоставление стандартизованных методов предотвращения холодных трещин). – Брюссель : Европейский комитет по стандартизации (CEN). – 78 с.
9. ГОСТ Р ИСО/ТО 10017-2005. Статистические методы. Руководство по применению в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001. – М. : Стандартинформ, 2005. – 24 с.
10. ГОСТ Р 51901.1-2002. Менеджмент риска (поправка ИУС 8-2005 г.) Анализ риска технологических систем. – М. : Госстандарт России, 2002. – 41 с.

МАШИНОИСПОЛЬЗОВАНИЕ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ АПК

УДК 631.363

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВИНТА ШНЕКА С ЗАДАНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Фролов Николай Владимирович, канд. техн. наук, проф. кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, д. 10.

Тел.: 8 (84663) 46-3-46.

Мосина Нина Николаевна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Математические методы и информационные технологии» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, д. 10.

Тел.: 8 (84663) 46-3-46.

Ключевые слова: шнек, транспортер, изготовление.

В статье предложен алгоритм расчета развертки винтовой спирали шнека с заданными геометрическими параметрами.

Винтовые транспортеры (шнеки) нашли применение не только для перемещения сыпучих, влажных, жидких и кусковых грузов, но и для выполнения различных технологических операций: дозирования, смешивания компонентов, прессования транспортируемого груза, разделения обрабатываемого материала на жидкую и твердую фракции и т.п. [1, 2]. Основным рабочим органом шнека является винт, состоящий из вала и закрепленной на нем (сваркой или каким-либо другим способом) винтовой спирали. Конструктивными (геометрическими) параметрами спирали являются шаг S винта, наружный D и внутренний d диаметры. Винтовую спираль в заводских условиях изготавливают прокаткой стальной полосы на конических валках, с которых полоса сходит в виде спирали с заданными конструктивными параметрами, или штамповкой из листа кусками примерно в один шаг [3, 4, 5]. Известен способ изготовления винта цилиндрического шнека с постоянным шагом из плоского листа необходимой толщины. В этом случае заготовка представляет собой развертку одного шага спирали (рис. 1). Заготовки соединяют друг с другом соответствующими отрезками (сторонами) в «сжатую» спираль, надевают ее на вал и прикладывают растягивающее усилие. В результате спираль деформируется в основном за счет напряжений от изгиба, дуга AEC развертки оказывается на поверхности вала в виде винтовой линии, дуга BFD становится наружной границей винтовой спирали с заданным шагом S . Зависимость между известными параметрами спирали (S , D , d) и неизвестными параметрами развертки (ρ_n , ρ_b , α) представляется следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} \rho_n \alpha = \sqrt{S^2 + (\pi D)^2}; \\ \rho_b \alpha = \sqrt{S^2 + (\pi d)^2}; \\ \rho_n - \rho_b = \frac{D - d}{2}. \end{cases} \quad (1)$$

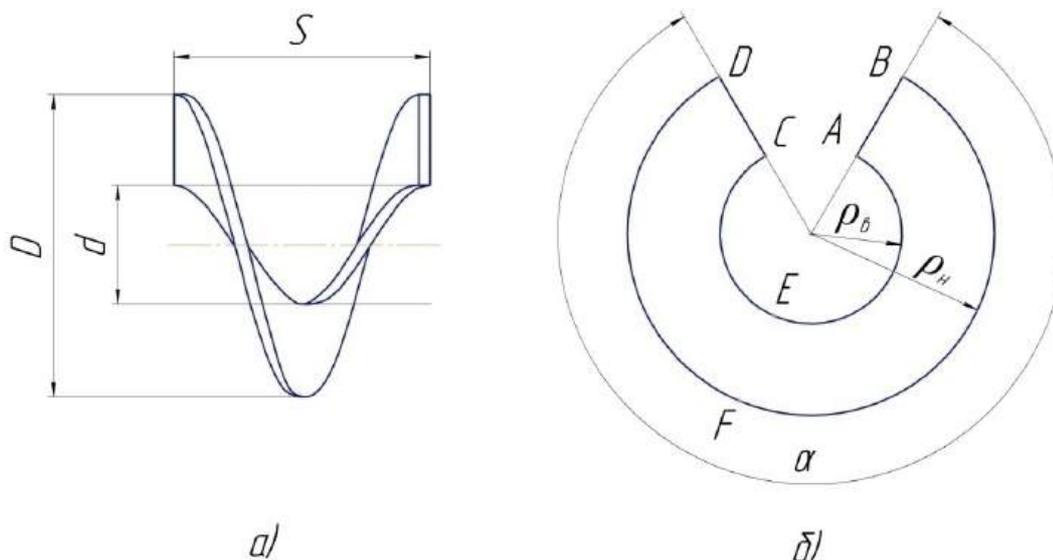


Рис. 1. Винтовая спираль цилиндрического шнека длиной в 1 шаг (а) и ее развертка на плоскости (б)

Параметры развертки однозначно определяются корнями этой системы:

$$\alpha = \frac{2\left(\sqrt{S^2 + (\pi D)^2} - \sqrt{S^2 + (\pi d)^2}\right)}{D - d}, \quad (2)$$

$$\rho_n = \frac{\sqrt{S^2 + (\pi D)^2}}{\alpha}, \quad (3)$$

$$\rho_b = \frac{\sqrt{S^2 + (\pi d)^2}}{\alpha}. \quad (4)$$

где α – центральный угол развертки, радиан;

ρ_b – внутренний радиус развертки, м;

ρ_n – наружный радиус развертки, м.

Этот способ изготовления винта, хотя и уступает заводским способам по точности, прост по выполнению и не требует дорогостоящего заводского оборудования, поэтому предназначен для мелкосерийного производства, а также производства в научных целях, когда при исследовании какого-либо процесса испытываются различные варианты шнеков и определяется лучший.

Однако использование цилиндрического шнека для выполнения во время транспортирования материала дополнительно какой-либо технологической операции часто бывает неэффективным. При транспортировании материала с одновременной его обработкой, например, разделением на твердую и жидкую фракции, фактическая производительность шнека изменяется по его длине. Поэтому проектируемая производительность должна отвечать этому изменению. Заметим, что производительность шнека при неизменной частоте вращения вала зависит от геометрических параметров (S , D , d). В этих случаях, очевидно, будет более эффективно работать шнек с переменными геометрическими параметрами, отвечающими требованиям выполняемого технологического процесса.

Направим ось Ox по оси шнека, а начало отсчета совместим с началом шнека. Тогда для общего случая можно записать

$$D_x = D(x), \quad (5)$$

$$d_x = d(x), \quad (6)$$

$$S_x = S(x), \quad (7)$$

где $D(x)$, $d(x)$, $S(x)$ – однозначные функции от аргумента x .

Цель исследований – повышение эффективности работы шнековых устройств на выполнении дополнительных операций во время транспортирования. Исходя из поставленной цели, в задачи исследований входило: 1) обосновать возможность изготовления винтовой спирали шнека с переменными геометрическими параметрами из плоского листа; 2) разработать способ и алгоритм расчета параметров развертки винтовой спирали.

Для решения поставленной задачи воспользуемся свойством дифференциального исчисления [6], которое можно сформулировать так: в функциональных зависимостях от переменной достаточно малой величины величинами второго и более высокого порядков можно пренебречь. На основании этого, при рассмотрении участка шнека длиной Δx , расположенного при координате x (рис. 2), шнек с изменяющимися по его длине параметрами заменяем на цилиндрический шнек с неизменными на этом участке параметрами D_x, d_x, S_x . (Ошибка будет не более малой величины второго и более порядка.) Для такого шнека длиной в один шаг справедливы формулы (1) – (4), и если величину Δx измерить в долях шага S_x и принять равной $\Delta x = \delta S_x, (\delta \ll 1)$, заготовка винта для участка длиной Δx будет иметь параметры: $\beta_x = \alpha_x \delta, \rho_{hx}, \rho_{vx}$.

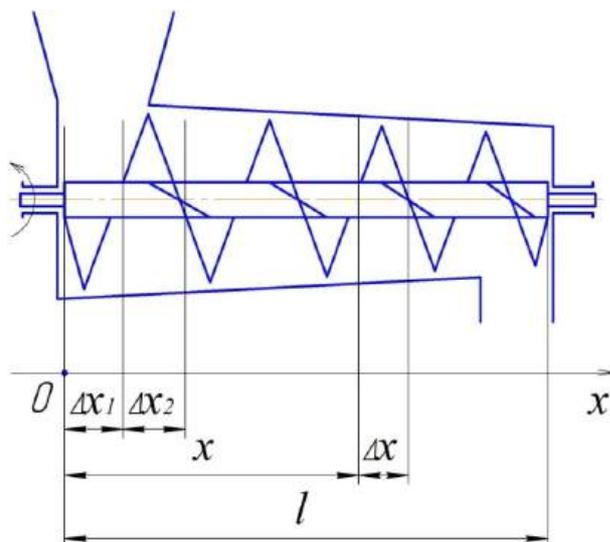


Рис. 2. Схема шнека с изменяющимися по длине параметрами

Особенностью предлагаемого решения является измерение величины Δx на разных участках шнека в одинаковых долях шага S_x . Это позволяет легко организовать вычислительный процесс.

Исходя из вышеизложенного, предложен следующий алгоритм вычисления конфигурации заготовки винтовой спирали для шнека с переменными геометрическими параметрами.

Задаем точность расчета $\delta = 0,01$.

1 шаг.

- 1) Полагаем $x_0 = 0, \psi_0 = 0$.
- 2) Выписываем исходные значения $D_{x_0}, d_{x_0}, S_{x_0}$.
- 3) Вычисляем по формулам (2), (3), (4) $\alpha_0, \rho_{h0}, \rho_{v0}$.
- 4) На графике в полярных координатах (ψ, ρ) отмечаем точки $(0, \rho_{h0}), (0, \rho_{v0})$.
- 5) Вычисляем $\Delta\psi_1 = \alpha_0 \delta, \Delta x_1 = S_{x_0} \delta$.

2 шаг.

- 1) Полагаем $x_1 = x_0 + \Delta x_1$ и определяем угловую координату полярных координат (ψ, ρ) $\psi_1 = \psi_0 + \Delta\psi_1$.
- 2) Вычисляем по формулам (5), (6), (7) значения $D_{x_1}, d_{x_1}, S_{x_1}$.
- 3) Вычисляем по формулам (2), (3), (4) значения $\alpha_1, \rho_{h1}, \rho_{v1}$.
- 4) На графике в полярных координатах (ψ, ρ) отмечаем характерные точки $(\psi_1, \rho_{h1}), (\psi_1, \rho_{v1})$.
- 5) Вычисляем $\Delta\psi_2 = \alpha_1 \delta, \Delta x_2 = S_{x_1} \delta$. И т.д....

k-й шаг.

- 1) Полагаем $x_{k-1} = x_{k-2} + \Delta x_{k-1}, \psi_{k-1} = \psi_{k-2} + \Delta\psi_{k-1}$.
- 2) Вычисляем $D_{x(k-1)}, d_{x(k-1)}, S_{x(k-1)}$.

3) Вычисляем α_{k-1} , $\rho_{H(k-1)}$, $\rho_{B(k-1)}$.

4) На графике в полярных координатах (ψ, ρ) отмечаем точки $(\psi_{k-1}, \rho_{H(k-1)})$, $(\psi_{k-1}, \rho_{B(k-1)})$.

5) Вычисляем $\Delta\psi_k = \alpha_{k-1}\delta$, $\Delta x_k = S_{x(k-1)}\delta$.

Признаком завершения расчета является достижение конца шнека, то есть условие $x > l$, где l – длина шнека. Часть заготовки винта, размещенная на одном листе, соответствует значениям угла $2\pi n \leq \psi_k < 2\pi(n+1)$, $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$, N – общее число заготовок, определяется по окончании расчета. Таким образом, по окончании расчета получим N разверток, которые могут быть использованы в качестве шаблонов для заготовок винта шнека.

Расчет по предложенному алгоритму может быть осуществлен с помощью подходящей компьютерной программы или реализован на каком-либо языке программирования. В качестве примера проведем расчет в табличном процессоре Microsoft Excel.

Спроектируем конический шнек со следующими параметрами: наружный диаметр шнека D_x изменяется от $D_0 = 200$ мм до $D_l = 100$ мм, функция изменения $D_x = D_0 - \frac{D_0 - D_l}{l}x$, диаметр вала $d = 60$ мм, длина шнека $l = 400$ мм, шаг шнека $S_x = 0,8D_x$, $\delta = 0,01$.

Исходные числовые данные заносим на лист Excel. Шаги расчета располагаем по строкам листа. Количество строк зависит от точности δ и длины шнека l , расчет заканчивается при достижении условия $x > l$. В соответствии с приведенным алгоритмом для каждого шага находим значения x , ψ , D_x , S_x , α , ρ_H и ρ_B .

Ряд полученных значений параметров разделим на части с таким расчетом, чтобы в пределах одной части значения ψ изменялись в пределах 2π : от 0 до $\approx 2\pi$, от $\approx 2\pi$ до $\approx 4\pi$ и т. д. По данным каждой части строим графики ρ_{Hx} , ρ_{Bx} в полярных координатах [7]. Построенный таким образом график представляет собой развертку одной части винтовой спирали на плоскости. Для рассмотренного примера получено 4 развертки. На рисунке 3 представлены первая и вторая развертки винта, полученные при помощи средств MS Excel. При соединении по линии $(a - b)$ они образуют часть винта шнека длиной 280 мм.

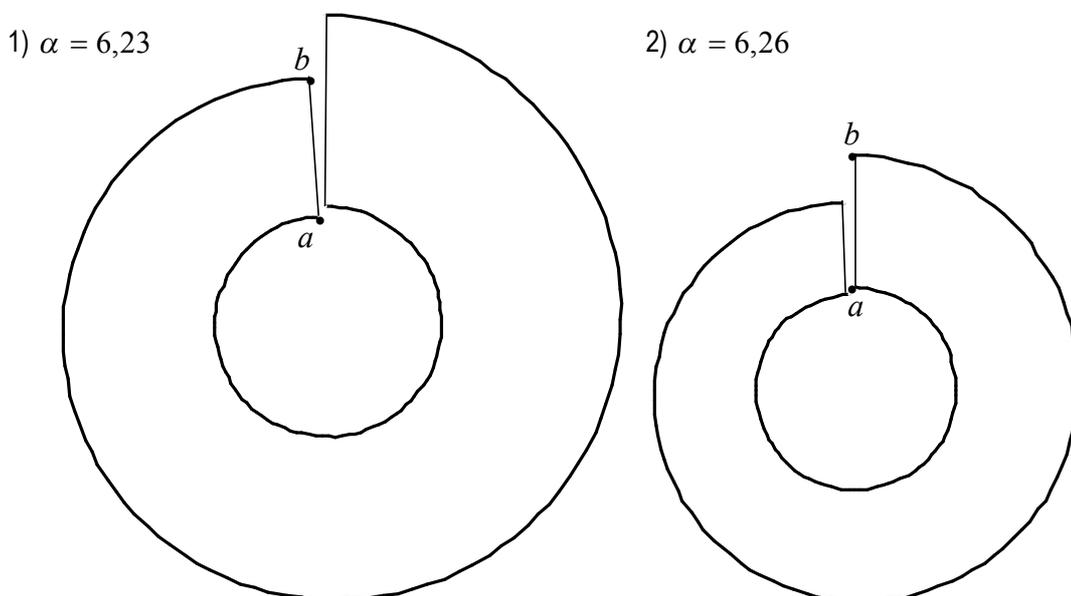


Рис. 3. Развертки на плоскость частей винтовой спирали шнека:
 $a - b$ – линия соединения разверток в спираль

Для производственных расчетов достаточная точность построения развертки может быть достигнута при использовании специализированных математических (MathCAD), конструкторских (КОМПАС) пакетов или специально созданной для этого расчета программы. Копируя полученные развертки на листе, предназначенном для изготовления винта, делают разметку и вырезают заготовки. Затем их соединяют в одно целое: конец первой заготовки (радиальный отрезок) соединяют встык с началом второй заготовки и т.д. Получен-

ную «сжатую» спираль надевают на вал или заменяющую его болванку и деформируют способом, аналогичным описанному выше для цилиндрического шнека. При этом точки внутреннего контура спирали соприкасаются с валом, а наружный контур занимает заданное положение, соответствующее наружному диаметру и шагу шнека. После растяжения винт закрепляется на валу. Если во время эксплуатации шнека ожидаются значительные нагрузки, и винтовая спираль из тонкого листа может оказаться недостаточно прочной, можно изготовить винт из нескольких одинаковых винтовых спиралей. Для этого необходимое количество (2-4) деформированных до окончательной формы спиралей объединяют в пакет, склеивают в одно целое и после этого закрепляют на валу.

Таким образом, предложенный метод расчета позволяет изготавливать шнек с любыми изменяющимися по его длине параметрами, способный более эффективно выполнять необходимые технологические операции над обрабатываемым материалом во время его транспортирования.

Библиографический список

1. Концепция развития механизации и автоматизации процессов в животноводстве на период до 2015 г. – Подольск, 2003. – 100 с.
2. Новиков, В. В. Дозатор-смеситель для подачи исходной массы смеси в пресс-экструдер / В. В. Новиков, В. В. Успенский, А. Л. Мишанин, В. К. Малышев // Известия Самарской ГСХА. – 2008. – С. 149-151.
3. Пат. №2287391 Российская Федерация, МПК В 21 С 37/26. Способ изготовления геликоидального шнека / Вуколов В. Н. ; патентообладатель ЗАО «Весоизмерительная компания «ТЕНЗО-М». – №2004118108/02 ; заявл. 16.06.2004 ; опубл. 20.11.2006, Бюл. №32. – 5 с.
4. Пат. №2361692 Российская Федерация, МПК В 21 С 37/26, В 23 К 31/02, В 23 К 101/08. Способ изготовления шнека и шнек / Гвоздов Д. А., Гордеев В. В. ; патентообладатель ГНУ «Северо-западный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук» (ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии). – №2007136443/02 ; заявл. 01.10.2007 ; опубл. 20.07.2009, Бюл. №20. – 7 с.
5. Пат. №2450878 Российская Федерация, МПК В 21 С 37/26. Способ производства спирали шнека / Кузнецов С. Б. ; патентообладатель ЗАО «Центр РИТМ». – №2010124015/02 ; заявл. 11.06.2010 ; опубл. 20.05.2012, Бюл. № 14. – 5 с.
6. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – СПб. : Лань, 2009. – 608 с.
7. Уокенбах, Д. Диаграммы в Excel. – М. : Вильямс, 2003. – 448 с.

УДК 631.363

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕСС ДЕГИДРАТАЦИИ ПРОТЕИНОСОДЕРЖАЩИХ СУБСТРАТОВ

Грецов Алексей Сергеевич, аспирант кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8а.

Тел.: 8-927-012-70-86.

Мишанин Александр Леонидович, канд. тех. наук, доцент кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8а.

Тел.: 8(84663) 46-3-46.

Янзина Елена Владимировна, канд. пед. наук, доцент кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8а.

Тел.: 8(84663) 46-3-46.

Курочкин Анатолий Алексеевич, д-р техн. наук, проф. кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная технологическая академия».

440014, г. Пенза, ул. Байдукова, д.1а.

Тел.: 8(841-2) 49-54-41.

Ключевые слова: корм, субстрат, силы, жидкость.

В статье рассматривается вопрос о получении концентрированных кормов на основе белковых субстратов. Обосновывается необходимость вытеснения влаги из мясо-рыбных отходов с целью их последующей переработки. Представлены аналитические выражения по определению формы компрессионного ножа устройства.

Получение концентрированных кормов на основе белковых субстратов является наиболее трудоемкой задачей современного кормопроизводства. При этом разделение субстрата на жидкую и квазетвердую фракцию представляет собой достаточно сложную техническую задачу. В данной работе исследуется потенциальная возможность повышения содержания животного протеина при отжиге мясо-рыбной массы

[1, 4, 8].

Цель исследования – аналитическое обоснование конструкции рабочего органа, обеспечивающей максимальное давление в точках контакта с вязкой средой, в задаче исследования входило определение формы передней кромки компрессионного ножа с учетом геометрических и динамических факторов, обеспечивающих эффективное сжатие.

Наиболее эффективными в настоящее время являются установки непрерывного действия. Такие установки невозможны без использования вращательного движения, в результате которого на «входе» имеется исходный материал (мясной субстрат), а на выходе – конечный и сопутствующие продукты. Динамика вращательного движения должна быть такой, чтобы обеспечить максимально возможный выход жидкости и воздуха из межфрагментарных пространств мясо-рыбо-костного субстрата.

При контакте вращающейся поверхности с некоторым количеством субстрата фрагмент последнего испытывает на себе действие центробежных сил и силы реакции динамического напора. Инерционные силы, сила трения можно считать пренебрежимо малыми, так как коэффициент трения субстрата по металлу ничтожно мал [3].

Таким образом, при рассмотрении действия контактной поверхности на элемент субстрата (в настоящих и последующих рассуждениях под элементом понимается частица бесконечно малого объема с массой dm) при вращательном движении вокруг вертикальной оси на упомянутый элемент действуют две элементарные силы:

$$dF_{ц.б.} = dm \cdot \omega^2 r, \quad dF_{р.д.н.} = \rho(r) \cdot \omega^2 r^2 dS, \quad (1)$$

где $F_{ц.б.}$ – центробежная сила, кг·м/с²;

m – масса, кг;

ω – угловая скорость, с⁻¹;

r – переменный радиус, м;

$F_{р.д.н.}$ – сила реакции динамического напора, кг·м/с²;

ρ – плотность, кг/м³;

dS – проекция элемента поверхности на плоскость, нормальную к вектору динамического напора, м²;

При вертикальном положении оси сила тяжести не будет влиять на динамику процесса; о силе тяжести было сказано выше.

Особо следует остановиться на силе динамического напора. Дело в том, что при стационарном режиме ($\omega = \text{const}$) сила динамического напора $F_{д.н.} = \int^S \rho(r) \cdot \omega^2 r^2 dS$ и сила реакции на неё уравновешивают друг друга. А это значит, что в некоторой контактной области субстрат будет подвергаться уплотнению, а последующие гипотетические слои, в связи со значительным содержанием влаги, будут как бы «скользить» в сторону наименьшего давления [5, 7].

В связи с этим необходимо рассмотреть следующий вопрос. Вытеснение жидкости из межфрагментарных пространств возможно только при несвободном (стесненном) сжатии. В случае воздействия динамического напора сжатие будет свободным (нестесненным), вследствие чего компрессионный эффект будет незначительным (по теории энергетических состояний пластичная среда будет просто «перетекать» туда, где её энергия будет наименьшая, то есть сопротивления практически не будет, а жидкость практически несжимаема) [3].

Таким образом, главным и определяющим силовым фактором будет центробежная сила, действующая на каждый элемент обрабатываемого субстрата. Элемент субстрата под действием этой силы с возрастающей скоростью будет отдаляться от центра вращения, сама перерабатываемая масса будет деформироваться и реструктурироваться. При наличии любого значимого препятствия имеющаяся влага, вследствие несжимаемости, будет «вытекать» в направлении наименьшего сопротивления, а плотные частицы будут задерживаться. Это приведет к разделению субстрата на фракции: плотную (кваситвердую), жидкую и газообразную (как сопутствующую). Следовательно, существует некоторое рациональное значение силы сопротивления, создаваемого либо особой геометрической формой контактной поверхности, либо встречным геометрическим телом (рис. 1).

Пусть в направлении, близком к горизонтальному, от поверхности вала к стенке корпуса вдоль передней кромки рабочего органа движется элемент субстрата. Какой должна быть линия передней кромки, чтобы этот элемент, плавно перемещаясь в указанном направлении, испытывал всё большее сопротивление передвижению (то есть «торможение», сдавливание, отделение жидкой фазы), достигая стенки корпуса с максимальной окружной скоростью?

В качестве основного и единственного фактора, влияющего на движение элемента, принимается центробежная сила: $dF_{ц.б.} = dm \cdot \omega^2 r(\varphi)$, а фактором, затрудняющим передвижение элемента к стенке корпуса и искривляющим его траекторию, является сила реакции воображаемой кромки на центробежную силу [9].

Объясняется это тем, что в стационарном режиме сила давления динамического напора и сила реакции на неё в каждой конкретной точке передней кромки ножа уравновешены, то есть их сумма равна нулю.

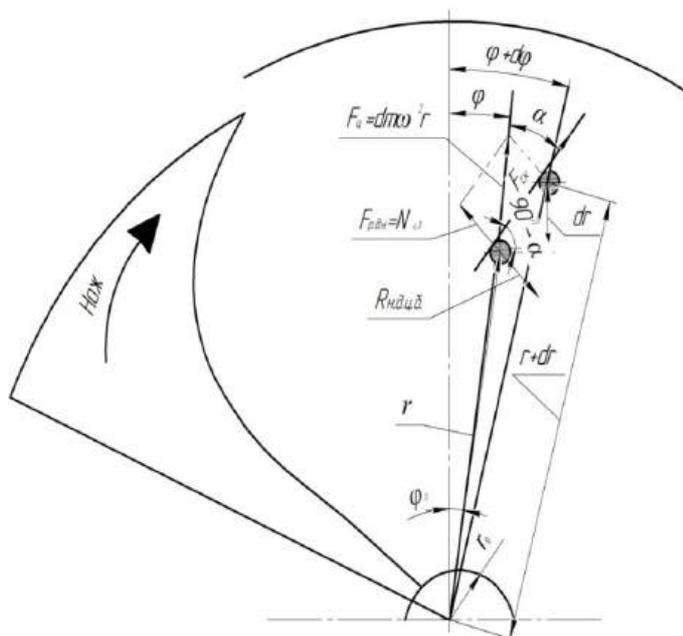


Рис. 1. Схема движения элемента субстрата

Из рисунка 1 следует, что сила реакции ($R_{н.д.ц.б.}$) по модулю равна силе нормального давления ($N_{ц.б.}$) (компоненту центробежной силы), но противоположна по направлению, то есть:

$$\frac{R_{н.д.ц.б.}}{dm \cdot \omega^2 r} = \sin \alpha \Leftrightarrow \frac{dm \cdot a_{н.д.ц.б.}}{dm \cdot \omega^2 r} = \sin \alpha \Rightarrow \frac{a_{н.д.ц.б.}}{\omega^2 r} = \sin \alpha, \quad (2)$$

где a – ускорение под действием силы реакции нормального давления, m^2/c ;

dm – масса элемента субстрата, кг.

Бесконечно малое перемещение элемента субстрата можно описать уравнением (рис. 1):

$$\frac{dr}{r d\varphi} = ctg \alpha, \quad (3)$$

где dr – элементарное приращение радиуса, м;

r – начальный радиус, м;

$d\varphi$ – элементарное приращение угла поворота, град.

Данное уравнение содержит три неизвестные величины и поэтому общего решения не имеет. Однако, задавшись некоторым соотношением между α и φ , можно получить целое семейство частных решений, из которых, руководствуясь эффективностью, можно выбрать наиболее рациональное.

Итак, пусть $\alpha = n\varphi$. Тогда:

$$\begin{aligned} \frac{dr}{r \cdot d\varphi} = ctg n\varphi &\Rightarrow \frac{dr}{r} = \frac{\cos n\varphi}{\sin n\varphi} \cdot d\varphi \Rightarrow \ln r \int_{r_0}^r = \frac{1}{n} \int_{n\varphi_0}^{n\varphi} \frac{\cos n\varphi}{\sin n\varphi} d(n\varphi) = \\ &= \frac{1}{n} \ln n\varphi \int_{n\varphi_0}^{n\varphi} \Rightarrow \ln \frac{r}{r_0} = \frac{1}{n} \ln \frac{\sin n\varphi}{\cos n\varphi} \Rightarrow \frac{r}{r_0} = \frac{\sqrt[n]{\sin n\varphi}}{\sqrt[n]{\cos n\varphi}}. \end{aligned} \quad (4)$$

Так как угол α в конце траектории (возле стенки корпуса) можно считать прямым (что соответствует перпендикулярности вектора скорости и радиуса вращения), то числитель в правой части полученного выражения можно считать равным 1, то есть:

$$r_k = \frac{r_0}{\sqrt[n]{\sin n\varphi_0}}. \quad (5)$$

Для построения линии передней кромки рабочего органа необходимо пользоваться следующей формулой:

$$r_k = \frac{r_0}{\sqrt[n]{\sin n\varphi_0}} \cdot \sqrt[n]{\sin n\varphi}. \quad (6)$$

Но при кинематическом анализе предполагаемого процесса можно убедиться, что необходимости в длинном ряде значений n , и, особенно, в больших n ($n > 4$), нет.

Задавшись рядом значений коэффициента кратности ($n = 1,5; 2; 3; 4$) можно получить различные формы кромки рабочего органа, а также различные относительные размеры этого органа, что необходимо для определения рациональной схемы расположения компрессионных ножей (рабочих органов).

Для проверки полученной формы передней кромки на резистентность используется «правило второй производной» (ускорение движения элемента субстрата):

$$\frac{dr}{d\varphi} = \frac{r_0}{\sqrt[n]{\sin n\varphi_0}} \cdot \frac{1}{n} \cdot (\sin n\varphi)^{\frac{1}{n}-1} \cos n\varphi \cdot n = \frac{r_0}{\sqrt[n]{\sin n\varphi_0}} \cdot (\sin n\varphi)^{\frac{1-n}{n}} \cdot \cos n\varphi. \quad (7)$$

При $0 < n\varphi < \frac{\pi}{2}$ и $\frac{dr}{d\varphi} > 0$

$$\begin{aligned} \frac{d^2r}{d\varphi^2} &= \frac{r_0}{\sqrt[n]{\sin n\varphi_0}} \left(\frac{1-n}{n} \cdot (\sin n\varphi)^{\frac{1-2n}{n}} \cdot \cos n\varphi - (\sin n\varphi)^{\frac{1-n}{n}} \cdot \sin n\varphi \cdot n \right) = \\ &= \frac{r_0}{\sqrt[n]{\sin n\varphi_0}} \cdot \sin^{\frac{1-n}{n}} \left((1-n) \cdot (\sin n\varphi)^{-1} \cdot \cos n\varphi - \sin n\varphi \cdot n \right) = \\ &= \frac{r_0 \cdot \sin^{\frac{1-n}{n}}}{\sqrt[n]{\sin n\varphi_0}} \cdot \left((1-n) \frac{\cos n\varphi}{\sin n\varphi} - n \cdot \sin n\varphi \right) = \\ &= \frac{r_0 \cdot \sin^{\frac{1-n}{n}}}{\sqrt[n]{\sin n\varphi_0}} \left((1-n) \operatorname{ctg} n\varphi - n \sin n\varphi \right). \end{aligned} \quad (8)$$

Так как $n > 1$, а $0 < n\varphi < \frac{\pi}{2}$ то выражение в скобках меньше нуля, а всё, что перед скобкой, больше нуля, из чего следует, что $\frac{d^2r}{d\varphi^2} < 0$. А это значит, что элемент субстрата испытывает торможение при приближении к стенке корпуса.

Из всего вышесказанного следует, что форма линии передней кромки, при данном концептуальном подходе, должна положить начало процессу ламинарного движения субстрата в зону наибольших значений поля давления. Таким образом, целесообразность вогнутости линии передней кромки ножа можно считать доказанной.

Библиографический список

1. Амерханов, Х. А. Стратегия и основные направления развития животноводства России [Электронный ресурс]. – URL: www.dki.ru (дата обращения: 22.05.2013).
2. Безматерных, А. А. Повышение эффективности обработки отходов убоя птицы путем совершенствования конструктивно-режимных параметров охладителя мясокостной муки : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Безматерных Александр Алексеевич. – Пермь, 2010. – 162 с.
3. Горячкин, В. П. Собрание сочинения : в 3 т. – М. : Колос, 1968. – Т.1. – 320 с.
4. Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2008-2012 годы [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mcx.ru/documents/document/show/1348.145.htm> (дата обращения: 23.04.2012).
5. Карпин, В. Ю. Повышение эффективности работы технологической линии производства сухих животных кормов путем моделирования процесса работы линии и рабочих органов измельчителя костей сельскохозяйственных животных : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Карпин Владимир Юрьевич. – СПб. ; Пушкин, 2001. – 197 с.
6. Тихонов, Е. А. Повышение энергетической эффективности процессов переработки кости убойных животных за счет оптимизации последовательности технологических операций и методов обработки сырья : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Тихонов Евгений Андриянович. – СПб. ; Пушкин, 2006. – 170 с.
7. Никитин, О. Ф. Гидравлика и гидропневмопривод. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 414 с. : ил.
8. Перспективы развития продовольственного сектора в России [Электронный ресурс]. – URL: <http://protown.ru/information/hide/4491.html> (дата обращения: 18.04.2013).
9. Малинов, Г. И. Повышение эффективности технологических линий утилизации отходов звероводства и птицеводства в сухие животные корма путём оптимизации их состава и совершенствования технических средств : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Малинов Геннадий Иванович. – Петрозаводск, 2003. – 342 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОГО ПРИГОТОВЛЕНИЯ СМЕСИ СМЕСИТЕЛЕМ-ДОЗАТОРОМ ЭКСТРУДЕРА

Коновалов Владимир Викторович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Теоретическая и прикладная механика» ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия».

440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30.

Тел.: 8(412) 628-272.

Новиков Владимир Васильевич, канд. техн. наук, проф. кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства», ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8а.

Тел.: 8(84663) 46-3-46.

Азиаткин Дамир Нариманович, аспирант кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8а.

Тел.: 8-927-607-43-33.

Грецов Алексей Сергеевич, аспирант кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства», ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8а.

Тел.: 8-927-012-70-86

Ключевые слова: смеситель, мешалка, лопасть, емкость, смесь, мощность, равномерность, крутящий, момент.

Приведены схемы функционирования экструзионного агрегата и его смесителя-дозатора. Представлены результаты теоретических исследований рабочего процесса приготовления смесей, идущих на экструдирование смесителем-дозатором непрерывного действия. Даны теоретические выражения, позволяющие установить влияние конструктивных параметров на мощность, затрачиваемую на процесс перемешивания. Также представлены выражения по определению объема емкости исходя из длительности перемешивания и равномерности получаемой смеси.

Для эффективного использования концентрированных кормов планируется около 54% производимого в стране фуражного зерна перерабатывать комбикормовой промышленностью, оставшаяся часть – использовать для производства комбикормов непосредственно в хозяйствах. В связи с этим возрастет потребность в смесительных агрегатах, способных приготавливать качественные смеси в хозяйствах с низкой энергоемкостью [1]. Учитывая повышение питательности смеси при ее экструзии, высокочувствительные и высокопроизводительные устройства комбикормовых заводов, разработка смесителя-дозатора, способного приготавливать с минимальными энергозатратами предварительные смеси для экструдирования в условиях животноводческих хозяйств является актуальной научной задачей. Известные в настоящее время смесители и дозаторы разнообразны по конструкции, принципу действия и способу реализации технологического процесса [1-4]. Однако далеко не все они способны быстро приготовить смесь надлежащего качества из экструдированных компонентов и с необходимой производительностью подавать ее в экструдер, обеспечивая при этом необходимый подпор материала в пресс экструдера, повышающий его производительность.

Цель исследования – моделирование технологического процесса смесителя-дозатора с учетом влияния его конструктивно-кинематических параметров, в задачи исследования входили – разработка конструктивно-технологической схемы смесителя-дозатора; определение оценочных критериев технологического процесса; определение функциональных зависимостей влияния конструктивно-кинематических параметров смесителя-дозатора на показатели его работы; определение зависимостей поправочных коэффициентов для определения потребной мощности привода и качества смеси.

Проведенный анализ технических средств для приготовления экструдированных смесей из сухих концентрированных кормов и используемых для этого технологических линий позволил рассматривать процесс приготовления экструдированных смесей на основе взаимодействия дозирующих, смесительных и экструдированных устройств [1-8] и обосновать применение дозаторов и смесителей непрерывного действия в составе агрегата для приготовления экструдата концентрированных смесей идущих на приготовление комбикормов.

Для улучшения распределения компонентов в смеси предлагается применить предварительное перемешивание компонентов, за счет которого уменьшается вероятность попадания завышенной доли контролируемого компонента в гранулу экструдата. Это наиболее важно при внесении ядовитых веществ, а также компонентов смеси, существенно различающихся по гранулометрическому составу и физико-механическим свойствам. Вначале, в результате взаимодействия части кормовых компонентов, происходит получение

первичной смеси, которая дополнительно перемешивается на последующих этапах приготовления экструдата. При работе всего агрегата (в состав которого входит пресс-экструдер, смеситель-дозатор и дозаторы компонентов экструдруемой смеси) дозаторы компонентов обеспечивают нормирование подачи компонентов в состав смеси; смеситель-дозатор перемешивает компоненты, равномерно распределяя компоненты в объеме и образуя смесь, а также обеспечивает надлежащее поступление (нормированную подачу) указанной смеси в экструдер; пресс-экструдер дополнительно перемешивает компоненты смеси, сжимает, нагревает и измельчает массу смеси, а также выдавливает образованную массу через фильеры для ее экструзии.

На значения оценочных критериев протекающего процесса оказывают влияние внутренние факторы, обусловленные внутренней структурой и параметрами дозирующих и смесительных устройств. Таковыми являются конструктивно-кинематические параметры дозаторов и смесителей, а также иных элементов конструкции экструдера. При этом, основной задачей конструктора является определение оптимальных, либо рациональных значений обобщенных параметров устройств (рис.1) $Xd_k, Xd_{i-i'}, Xd_c, Xs_1, Xs_2, Xs_3$ с целью доведения показателей $Y4_1$ до значений, соответствующих рецепту и соответствии зоотехническим требованиям показателей $Y4_2, Y4_3$, а также стремлении суммарных значений Y_3, Y_{mn} – к минимуму.

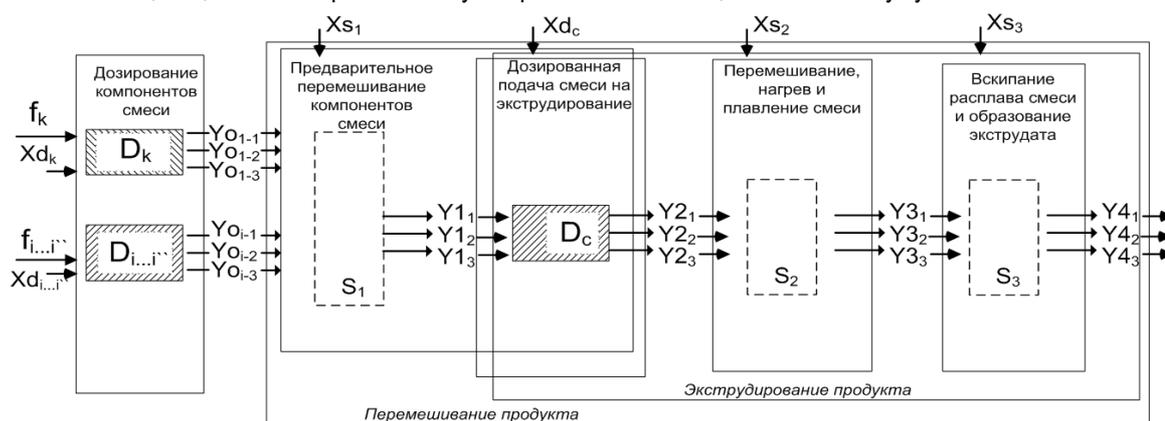


Рис. 1. Структурная схема функционирования линии приготовления гранул экструдата концентрированных кормов:

$D_k, D_{i-i'}$ – дозатор кормового компонента, поступающего на смешивание для последующей экструзии, соответственно: k – контролируемого, $i-i'$ – неконтролируемого; D_c – дозатор смеси, идущей на экструзию; S – смесительное устройство, включающий в себя смесительные устройства предварительного (S_1) смешивания, и основного (S_2) смешивания в процессе нагрева и плавления смеси, дополнительного (S_3) смешивания в процессе вскипания экструдата; $f_k, f_{i-i'}$ – обобщенный статистический показатель, характеризующий гранулометрический состав кормовых компонентов смеси, поступающих на дозирование, их физико-механические свойства; $Xd_k, Xd_{i-i'}, Xd_c$ – обобщенное значение внутреннего фактора дозирующего устройства кормового компонента смеси; Xs_1, Xs_2, Xs_3 – обобщенное значение внутреннего фактора смесительных устройств предварительного, основного и дополнительного смешивания соответственно; $Y_{o1-1}, Y_{o1-2}, Y_{o1-3}$ – производительность (массовая подача) i -го (или иного, соответственно) кормового компонента, поступающего на смешивание, отклонение от заданного значения подачи, неравномерность подачи; $Y_{21-1}, Y_{21-2}, Y_{21-3}$ – производительность (массовая подача) предварительной смеси, поступающей на экструдирование, отклонение от заданного значения подачи, неравномерность подачи; $Y_{11}, Y_{12}, Y_{13}, \dots, Y_{41}, Y_{42}, Y_{43}$ – доля компонента в смеси, отклонение доли компонента от рецепта, качество смеси (неравномерность смешивания /коэффициент вариации/, равномерность смешивания) смесительных устройств предварительного, основного и дополнительного смешивания

Обобщенные показатели, характеризующие энергоемкость Y_3 , материалоемкость и надежность Y_{mn} системы средств механизации приготовления кормов, в структурную схему (рис. 1) условно не введены.

Из-за ступенчатого перемешивания компонентов, предварительная смесь должна соответствовать показателям, обеспечивающим получение надлежащего качества смеси на заключительных этапах.

В ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия» изготовлен смеситель-дозатор (рис. 2), состоящий из корпуса 1, представляющего собой две последовательные емкости, разделяемые диском 12. Внутри первой из них установлены радиальные лопасти 4. Между диском 12 и корпусом 1 имеется зазор. Нижняя часть корпуса 1 выполнена в виде усеченного конуса. Возле выгрузного отверстия корпуса установлены лопатки 15, а над ними спиральные лопасти 13. В центре нижней емкости корпуса 1 расположен шнек 14. Имеется отдельный привод на радиальные лопасти 4 и шнек 14 [8].

Верхняя и нижняя навивка шнека 14 выполнены различного шага и направления. Такая конструкция позволяет компенсировать осевые силы, возникающие на нижней навивке и дополнительно перемешивать корм. Лопатки 15 служат для свдоразрушения и дополнительного перемешивания корма.

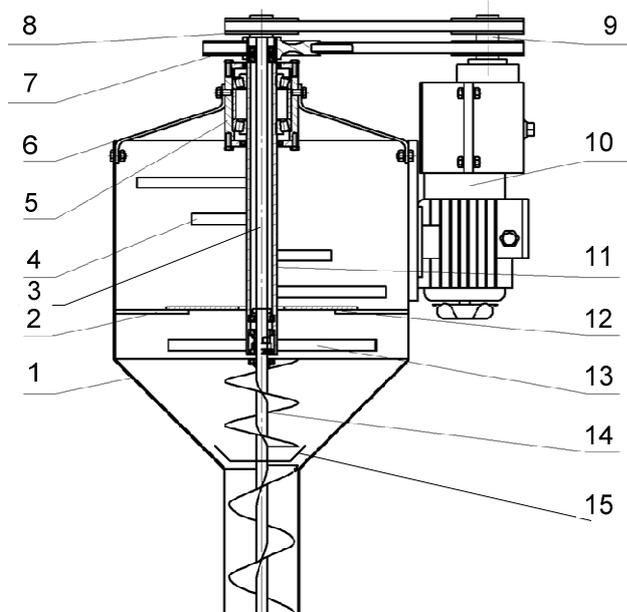


Рис. 2. Схема смесителя-дозатора концентрированных кормов для приготовления предварительной смеси, поступающей на экструзию:

- 1 – корпус; 2 – луч; 3 – вал; 4 – радиальные лопасти; 5 – подшипниковый узел; 6 – распорки; 7 – шкив привода лопастного вала; 8 – шкив привода шнекового вала; 9 – блок шкивов; 10 – мотор-редуктор; 11 – вал привода лопастей; 12 – диск; 13 – спиральные лопасти; 14 – шнек; 15 – лопатки

Смеситель-дозатор работает следующим образом. После загрузки компонентов включается мотор-редуктор 10 и начинают вращаться вал 3 со шнеком 14 и лопатками 15, и вал 11 привода лопастей 4 и 13. В результате воздействия лопастей 4 корм, находящийся выше диска 12 активно перемешивается. Часть корма просыпается в зазор между торцом диска 12 и корпусом 1 к лопаткам 15, расположенным в нижней части корпуса 1. Корм, поступивший к верхней навивке шнека 14, поднимается витками вверх и подаётся к спиральным лопастям 13. Спиральные лопасти сдвигают корм к периферии корпуса 1. В результате происходит взаимодействие ранее поступившего корма с его новой порцией, ссыпавшейся из наддискового пространства. Часть перемешанного корма, не увлечённого в циркуляцию верхней навивкой шнека 14, ссыпается в нижнюю горловину корпуса 1. Здесь корм захватывается нижней навивкой шнека 14 и подаётся с уплотнением в загрузочную зону пресс-экструдера.

Лопастей 4 будем считать лопастной мешалкой, лопатки 15 – якорной мешалкой, а шнек 14 – шнековой мешалкой.

Для определения энергоёмкости смесеобразования экструдата Y (Дж/кг) требуется знать затраченную энергию (работу) и массу приготовленного экструдата, соответственно, по аналогии с

$$Y = \frac{\sum A'}{M} = \frac{\sum N_j \cdot T}{Q_{ЭК} \cdot T} + \frac{\sum N_j}{\sum Q_{Д_j}} + \frac{N_{ЭК}}{Q_{ЭК}} = \frac{\sum T_i}{Q_{ЭК}} + \frac{\sum N_j}{\sum Q_j} + \frac{N_{ЭК}}{Q_{ЭК}}, \quad (1)$$

где A' – работа, затраченная на выполнение всех операций в процессе работы агрегата приготовления экструдата, Дж; M – масса приготавливаемой порции экструдата, кг; N_i – мощность, необходимая на привод i -го рабочего органа смесителя, Вт; N_j – мощность, необходимая на привод дозатора j -го компонента смеси, Вт; $N_{ЭК}$ – мощность, необходимая на привод рабочего органа экструдера, Вт.

Средняя производительность смесителя-дозатора $Q_{см}$, кг/с, составит ту же величину, что и у экструдера ввиду последовательного их расположения:

$$Q_{см} = Q_{ЭК} \leq \sum Q_{Д_j}. \quad (2)$$

Средняя суммарная производительность (подача) дозаторов $Q_{д}$, кг/с, также будет равна производительности экструдера $Q_{ЭК}$. Средняя величина подачи не должна быть меньше производительности экструдера. В случае если производительность экструдера меньше суммарной подачи дозаторов компонентов, то будет происходить периодическое приостановление работы дозаторов. При этом следует обеспечить одновременное прекращение подачи компонентов смеси дозирующими устройствами и одновременное начало их работы.

Расчёт мощности на работу перемешивающих устройств (комбинированного рабочего органа) определяем как совокупность затрат мощности на привод отдельных их элементов. Компьютерная программа по определению мощности привода смесителя осуществляет расчет в соответствии с формулами

РД 26-01-90-85 для аппаратов с вертикальными перемешивающими устройствами. Учитывая различия свойств жидкости и сыпучих материалов, в формулу мощности введены поправочные коэффициенты k_{n1}, k_{n2} , для которых уточнены значения используемых рабочих органов.

Метод расчёта смесителя (РД 26-01-90-85) основан на составлении и решении уравнения равенства моментов сил, приложенных к перемешиваемой среде мешалкой и уравновешиваемых стенками и перегородками корпуса смесительного аппарата:

$$M_{кр} = M_{кор} + M_{вн}, \quad (3)$$

где $M_{кр}$ – крутящий момент, т.е. момент сил, возникающих при вращении лопастей мешалки; $M_{кор}$, $M_{вн}$ – моменты сил сопротивления вращению, возникающие на стенках корпуса аппарата и внутренних устройствах при воздействии материала соответственно.

Момент сил, возникающих при вращении лопастей мешалки, Н·м:

$$M_{кр} = z_m \cdot \zeta \cdot K_1, \quad (4)$$

где z_m – число мешалок на валу перемешивающего устройства; ζ – коэффициент сопротивления перемещению мешалки; K_1 – коэффициент пропорциональности мощности перемешивания:

$$K_1 = (\psi_1 + \psi_2)^2, \quad (5)$$

где ψ_1, ψ_2 – параметры профиля окружной скорости материала.

Значения ψ_1 и ψ_2 связаны соотношением $\psi_2 = -s_1 - s_2 \cdot \psi_1$, при этом: $s_1 = 0,5$, $s_2 = 1,25$, если $\Gamma_D > 1,5$, $s_1 = \frac{7 \cdot \Gamma_D - 6}{21 \cdot \Gamma_D - 20}$, $s_2 = \frac{28 \cdot \Gamma_D - 27}{21 \cdot \Gamma_D - 20}$, если $\Gamma_D \leq 1,5$; $\Gamma_D = \frac{D}{d_m}$ – симплекс геометрического подобия; D, d_m – диаметры ёмкости и мешалки, м;

Моменты сил сопротивления вращению, возникающие на стенках корпуса:

$$M_{кор} = \frac{\pi \cdot \lambda \cdot \gamma}{2,2 \cdot Re_{ц}^{0,25}} \cdot \Gamma_D^{2,75} \cdot v_{cp}^{1,75}, \quad (6)$$

где $\lambda = \Gamma_D / (20,35 \cdot \Gamma_D - 19,1)$ – коэффициент сопротивления корпуса аппарата; $\gamma = l \cdot H / D + p$ – параметр высоты заполнения аппарата ($l = 4$ для аппарата с отражательными перегородками и $l = 8$ – без перегородок, $p = 2$ для полностью заполненного и $p = 1$ для аппарата со свободной поверхностью материала); $Re_{ц}$ – циркуляционный критерий Рейнольдса; v_{cp} – относительная осредненная окружная скорость течения жидкости в аппарате, м/с.

При $\Gamma_D > 1,5$ для мешалок с горизонтальными лопастями:

$$v_{cp} = \frac{1 + 0,4 \cdot \psi_1 + 0,5 \cdot \psi_2 + 2 \cdot (1 + \psi_1 + \psi_2) \cdot \ln(\Gamma_D)}{2 \cdot \Gamma_D}. \quad (7)$$

Моменты сил сопротивления вращению, возникающие на стенках внутренних устройств ёмкости смесительного аппарата равны нулю ввиду их отсутствия. Ввиду малой мощности затрачиваемой спиральным ворошителем (материал смеси практически не взаимодействует со спиральными лопастями 13) указанное слагаемое в балансе мощности не указано. Учитывая, что в процессе работы рассматриваемого смесителя-дозатора перемешиваемые компоненты являются сыпучими и обладают определённой текучестью, при проведении теоретических исследований рабочего процесса допускаем справедливость указанных выражений. Для устранения неизбежно возникающих погрешностей результатов вводим поправочные коэффициенты и уточняем числовые значения мощности с учётом коэффициентов. Слагаемые мощности привода комбинированного рабочего органа определены с учетом используемых конструктивных параметров (рис. 3).

Мощность, потребляемая приводом якорного ворошителя (лопаток 15) определится с учетом вышеуказанных положений, Вт:

$$Nn_{я} = K_{Nя} \cdot \rho_c \cdot n_d^3 \cdot D_m^5, \quad (8)$$

где $K_{Nя} = \frac{\pi^2}{2} \cdot \lambda_{я} \cdot \frac{h_{я}}{D_m} \cdot Z_m \cdot \frac{1}{Re_{я}} \cdot \left(1 - \left(\frac{d_o}{D_m}\right)^2\right)$ – коэффициент мощности; ρ_c – плотность вороха смеси, кг/м³; n_d – частота вращения вала шнековой и якорной мешалки, с⁻¹; D_m – диаметр якорной мешалки, м; $\lambda_{я}$ – коэффициент сопротивления корпуса аппарата для якорной мешалки; $h_{я}$ – высота якорной мешалки, м; Z_m – количество лопаток якорной мешалки, шт.; d_o – ширина лопатки якорной мешалки, м.

Мощность, потребляемая приводом шнековой мешалки, Вт:

$$Nn_{ш} = K_{Nш} \cdot \rho_c \cdot n_d^3 \cdot D_{ш}^5, \quad (9)$$

где $K_{Nш} = \frac{\pi^2}{6} \cdot \lambda_{ш} \cdot \frac{H}{D_{ш}} \cdot \left(\frac{S_{ш}}{D_{ш}}\right)^{1,7} \cdot \left(1 - \left(\frac{d_b}{D_{ш}}\right)^3\right)$ – коэффициент мощности; $D_{ш}$ – диаметр шнековой мешалки, м; $\lambda_{ш}$ – коэффициент сопротивления корпуса аппарата для шнековой мешалки; H – высота шнековой мешалки, м; $S_{ш}$ – шаг шнека, м.

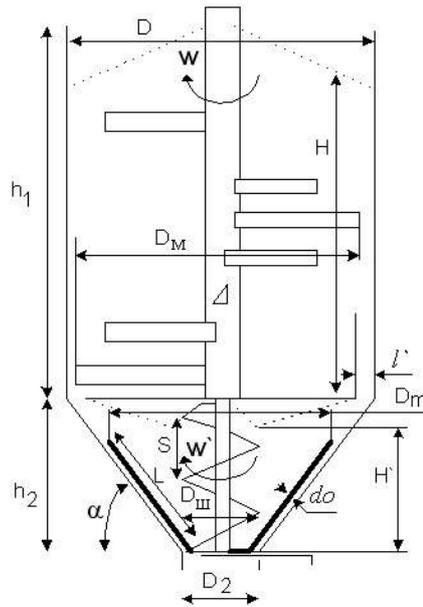


Рис. 3. Схема используемых обозначений размеров смесителя-дозатора

Мощность, потребляемая приводом дозирующего устройства смесителя-дозатора, Вт:

$$Nn_d = (N_{дхх} + Nn_{я} + Nn_{ш}) \cdot k_{n1}, \quad (10)$$

где k_{n1} – поправочный коэффициент; $N_{дхх}$ – мощность холостого хода привода дозатора, Вт.

Поправочный коэффициент k_{n1} для конической ступени смесителя:

$$k_{n1} = 4,150633 - 0,07297 \cdot S + 0,000289 \cdot L + 0,110748 \cdot n + 0,000422 \cdot S^2 + 0,000394 \cdot n^2 - 0,00056 \cdot S \cdot L - 8,1 \cdot 10^{-5} \cdot L \cdot n - 5,47171 \cdot n/S, \quad (11)$$

где S – шаг шнека, мм; L – длина лопатки ворошителя (якорная мешалка), мм; n – частота вращения якорной мешалки, мин⁻¹.

Мощность, потребляемая приводом лопастной мешалки, Вт:

$$Nn_m = K_{NM} \cdot \rho_c \cdot n_c^3 \cdot D_m^5, \quad (12)$$

где $K_{NM} = 3,87 \cdot \lambda_m \cdot Z_M \cdot K_1$ – коэффициент мощности; n_c – частота вращения вала лопастной мешалки, с⁻¹; D_m – диаметр лопастной мешалки, м; λ_m – коэффициент сопротивления корпуса аппарата для лопастной мешалки; Z_M – количество лопастей лопастной мешалки, шт.

Мощность, потребляемая приводом смесителя-дозатора, Вт:

$$Nn_\delta = (N_{схх} + Nn_\delta + Nn_m) \cdot k_{n2}, \quad (13)$$

где k_{n2} – поправочный коэффициент; $N_{схх}$ – мощность холостого хода привода лопастной мешалки, Вт.

Поправочный коэффициент k_{n2} для лопастной мешалки смесителя:

$$k_{n2} = 0,181723 \cdot Z_M + 0,013287 \cdot n - 0,00167 \cdot Z_M \cdot n - 0,000047 \times n^2 - 0,00138 \cdot Z_M^2 + 0,00000401 \cdot n^2 \cdot Z_M, \quad (14)$$

где n_c – частота вращения лопастной мешалки, мин⁻¹.

Длительность перемешивания смеси определяется на основе объема смеси, режима смешивания и необходимого количества воздействий лопастей для достижения потребной равномерности смеси [9]. Объем смесителя может быть определен [2] по формуле

$$V = \frac{Q}{T \cdot \rho}. \quad (15)$$

Количество воздействий за время перемешивания T составит, раз:

$$k_b = T \cdot n \cdot z_M. \quad (16)$$

Отсюда потребное время смешивания, с:

$$T = k_b \cdot \frac{k_v}{n \cdot z_M}, \quad (17)$$

где k_v – поправочный коэффициент, учитывающий турбулизацию материала.

Зависимость влияния количества потребного воздействия лопастей k_b на качество смеси с учетом доли контролируемого компонента D_k и массы материала M при степени заполнения емкости смесителя около 50% определяется выражениями с учетом неравномерности смеси (коэффициента вариации содержания контрольного компонента) $v_c=10$ или 5% [9]:

$$k_{b10}=0,1488823 \cdot \exp(\exp(0,8239655/D_k - 0,0109336 \cdot M/D_k)) \times \exp(2,391923+0,0924484 \cdot M - 0,188577/(D_k \cdot M)) - 0,371118, \quad (18)$$

$$k_{b5}=0,7511183 \cdot \exp(\exp(0,263152/D_k - 0,0072607 \cdot M/D_k)) \times \exp(5,03166+0,0021487 \cdot M - 0,041901/(D_k \cdot M)) - 305,827. \quad (19)$$

Кроме того, в ряде литературных источников утверждается, что процесс смешивания может быть изучен по аналогии с процессом диффузии. Согласно этой аналогии, для степени равномерности имеем уравнение [10]

$$\Theta = 1 - e^{-k \cdot T}. \quad (20)$$

Равномерность смешивания можно также определить через коэффициент вариации содержания контрольного компонента в пробах – так называемую неравномерность смеси:

$$\Theta = 1 - v_c. \quad (21)$$

В таком случае неравномерность смеси запишется:

$$v_c = e^{-k \cdot T}. \quad (22)$$

После выражения времени смешивания через конструктивные параметры получим выражение неравномерности смеси:

$$v_c = e^{-k \cdot k_b \cdot \frac{k_v}{n \cdot Z_M}}. \quad (23)$$

При ступенчатом смешивании качество смеси через промежуток времени смешивания T_c (на данной ступени смешивания) определится:

$$\Theta_k = 1 - e^{-k(T_H + T_c)}, \quad (24)$$

где T_H – условное время смешивания, определяемое как время смешивания для изменения качества смеси от нуля до качества смеси соответствующего началу смешивания на данной ступени смешивания.

Коэффициент k , учитывающий интенсивность перемешивания конической ступени смесителя-дозатора (рис. 4):

$$k = 0,00033 \cdot n \cdot (-11453,2 + 4,373 \cdot 10^7 \cdot Re_{ш} - 144327 \cdot Fr_{ш} + 1,106 \cdot 10^9 \cdot Re_{ш} \cdot Fr_{ш} + 1,522 \cdot 10^6 \cdot Re_m - 255811 \cdot Fr_m - 1,483 \cdot 10^8 \cdot Re_m \cdot Fr_m), \quad (25)$$

где n – частота вращения рабочего органа, c^{-1} ; $Re_{ш}$ – число Рейнольдса для шнекового рабочего органа; $Fr_{ш}$ – число Фруда для шнекового рабочего органа; Re_m – число Рейнольдса для ворошителя (якорной мешалки); Fr_m – число Фруда для ворошителя (якорной мешалки).

Коэффициент k , учитывающий интенсивность перемешивания для цилиндрической ступени смесителя-дозатора:

$$k = 0,0000277 \cdot n \cdot (3134,467 - 1,013 \cdot Re_m - 208,691 \cdot Fr_m + 1,077 \cdot 10^5 \cdot Re_m \cdot Fr_m - 2073,2/Z_M), \quad (26)$$

где n – частота вращения рабочего органа, c^{-1} ; Re_m – число Рейнольдса для лопастной мешалки; Fr_m – число Фруда для лопастной мешалки.

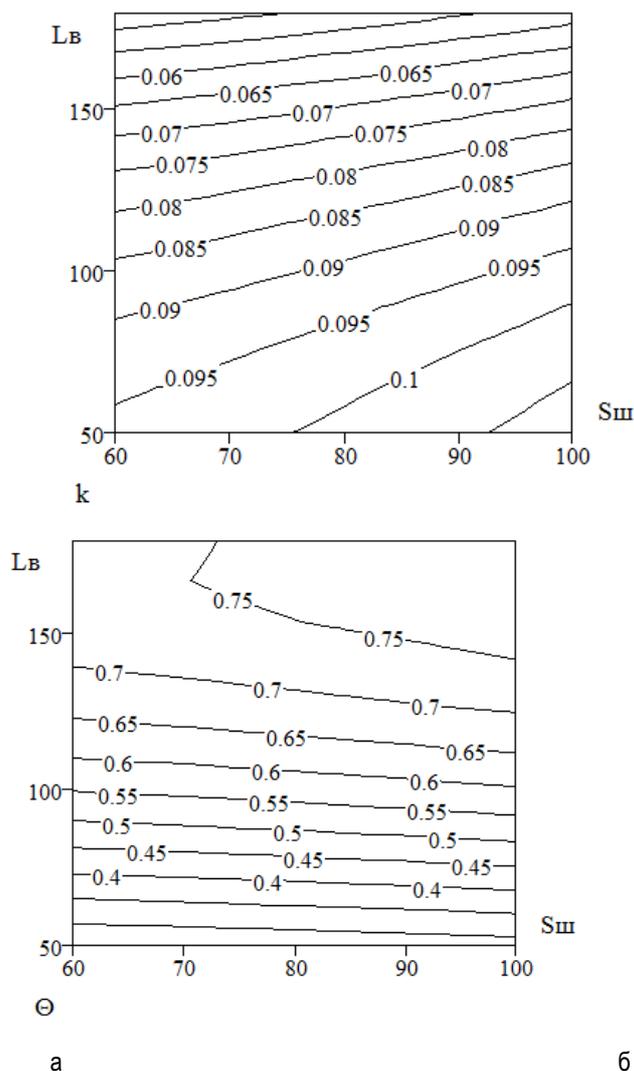


Рис. 4. Результаты компьютерного моделирования показателя степени смешивания k и равномерности смеси Θ (0,01%) в зависимости от шага винта шнека $S_{ш}$ и длины лопасти $L_{в}$, м

В качестве примера компьютерной реализации полученных выражений для конической части смесителя представлена функция показателя k в зависимости от чисел Рейнольдса и Фруда (как производных показателей от длины лопасти и шага витков шнека) при частоте вращения рабочего органа 35 мин^{-1} с учетом числа лопаток $Z_m=2$ и заходности шнека $z_{ш}=1$ (рис. 4, а), а также установлена для указанных значений k функция однородности смеси (рис. 4, б) используя вышеуказанные зависимости.

Таким образом, полученные выражения позволяют определить основные параметры смесителя-дозатора непрерывного действия, а реализованная математическая модель в виде компьютерной программы – определить влияние конструктивных параметров на рабочий процесс.

Библиографический список

1. Сыроватка, В. И. Ресурсосбережение при производстве комбикормов хозяйствах // Техника и оборудование для села. – 2011. – №6. – С. 22-25.
2. Новиков, В. В. Обоснование параметров лопастной мешалки / В. В. Новиков, С. П. Симченкова, В. И. Курдюмов // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2011. – №2(14). – С.104-108
3. Коновалов, В. В. Влияние технологических параметров на показатели работы смесителя микродобавок / В. В. Коновалов, А. В. Чупшев // Нива Поволжья. – 2009. – №2(11). – С. 76-81.
4. Терюшков, В. П. Обоснование параметров конического смесителя / В. П. Терюшков, В. В. Коновалов, И. А. Боровиков, В. Ф. Дмитриев // Вестник СГАУ им Н.И. Вавилова. – 2006. – №6. – С.48-50

5. Коновалов, В. В. Смеситель жира и концентрированных кормов / В. В. Коновалов, А. А. Курочкин, К. М. Мишин // Животновод. – 2003. – №2. – С. 27.
6. Боровиков, И. А. Смеситель сухих кормов / И. А. Боровиков, В. В. Коновалов, С. В. Гусев, В. П. Терюшков // Техника и оборудование для села. – 2006. – №7. – С.15.
7. Курочкин, А. А. Устройство для ввода жира в концентрированные корма / А. А. Курочкин, В. В. Коновалов, К. М. Мишин // Комбикорма. – 2002. – №7. – С. 18.
8. Пат. 2435461 Российская Федерация. Смеситель-дозатор пресс-экструдера / Иноземцева Л. В., Коновалов В. В., Новиков В. В., Азиаткин Д. В. – № 2010125628 ; заявл. 22.06.2010 ; опубл. 10.12.11, Бюл. №34. – С. 5.
9. Коновалов, В. В. Определение потребного количества воздействий лопастей на смесь / В. В. Коновалов, А. В. Чупшев, В. П. Терюшков // Научно-технический прогресс в животноводстве: стратегия машинно-технологического обеспечения производства продукции на период до 2020 г. : сб. тр. – Подольск, 2009. – Т. 20, ч. 3. – С. 107-115.
10. Стукалкин, Ф. Г. Исследование кормосмесителей непрерывного действия и методика их расчета : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Стукалкин Ф. Г. – Ленинград, 1965. – 21 с.

УДК 658.382

ТРАНСПОРТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ПУТИ ЕЁ ПОВЫШЕНИЯ

Григоров Петр Павлович, зав. кафедрой «Организация перевозок и технический сервис» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия», Институт управленческих технологий и аграрного рынка.

443056, Самара, проспект Масленникова, д. 37.

Тел.: 8(846) 334-11-55.

Шкрабак Роман Владимирович, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Безопасность технологических процессов и производств» ФГБОУ «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», член-корреспондент МАНЭБ.

196601, Санкт-Петербург – Пушкин, Петербургское шоссе, д. 2.

Тел.: 8 (812) 451-76-18.

Ключевые слова: транспорт, безопасность, анализ, пути, повышение.

В статье приводятся результаты анализа транспортной безопасности, включая динамику дорожно-транспортных происшествий, виды нарушений Правил дорожного движения, их последствия. Приведены сведения по числу аварий, тяжелых и летальных исходов в них, пути решения проблемы.

Транспортное обеспечение во всех видах экономической деятельности является важнейшей составляющей технологических процессов. Применительно к АПК ведущим является автомобильный и тракторный транспорт, занимающий 30-40% объема работ (в зависимости от производимых культур, принятых технологией производства и географической зоны региона). Последние десятилетия транспортные операции сопровождаются недопустимо высоким числом аварий, дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с гибелью и тяжелым травмированием людей.

Цель исследований – обосновать пути повышения транспортной безопасности в АПК.

Задача исследований – выполнить анализ состояния транспортной безопасности применительно к сельским регионам; изучить динамику дорожно-транспортных происшествий (ДТП) в стране за 2010-2011 гг.; выявить виды и число нарушений правил дорожного движения (ПДД) водителями и пешеходами; уяснить влияние погодных условий на уровень ДТП; изучить распределение аварий по месяцам года.

Для сельскохозяйственного производства [1, 2] характерны следующие причины несчастных случаев со смертельным исходом (в убывающем порядке): нарушения правил дорожного движения – 20%; несоответствующая требованиям норм и правил организация работ – 17%; допуск к работе необученных и непроинструктированных лиц – 14%; использование неисправного оборудования и машин – 13%; алкогольное и наркотическое опьянение работников – 7,5%; нарушение требований технологии и производства работ – 5,6%; не обеспечение правил пожарной безопасности – 4,5%; убийства – 3,7%; прочие – 17,5%.

Анализ несчастных случаев по отраслям производства показал, что их динамика в АПК выглядит следующим образом: растениеводство – 22%; животноводство – 20%; транспортные работы – 18%; работы по ремонту и техническому обслуживанию – 16%; строительные работы – 6%; лесозаготовки – 4%; пищевая промышленность – 3%; жилищно-коммунальное хозяйство – 2%; мясная и молочная промышленность – 1%; снабжение – 0,7%; мелиоративные работы – 0,6%; рыболовство – 0,5%; химизация – 0,4%; крестьянские и фермерские хозяйства – 0,2%; прочие – 5,6%.

Основным источником травмирования является транспортная и мобильная техника (автомобили, тракторы, самоходные комбайны). Типичными причинами гибели операторов являются опрокидывание, за-

водка двигателя при включённой передаче в трансмиссии, отсутствие ограждений (ременных, цепных, шестерённых передач, карданных валов).

Особую тревогу вызывает аварийность на транспорте; в результате транспортных происшествий в АПК происходят около половины несчастных случаев со смертельным исходом. По причине низкой трудовой дисциплины более половины дорожных аварий совершаются водителями и трактористами, находящимися в алкогольном опьянении. Определяющими причинами транспортных происшествий являются [1, 3]: допуск к управлению мобильными машинами лиц, не имеющих удостоверений и не прошедших инструктажей и стажировок; отсутствие действенного контроля за соблюдением водителями трудовой и транспортной дисциплины, их работой на линии; отсутствие предрейсовых и послерейсовых медицинских осмотров; отсутствие оборудованных площадок для дислокации и хранения транспортных средств. Травмированию способствуют отсутствие оборудованных мест для безопасного отдыха и приёма пищи в полевых условиях, маршрутов безопасного движения транспортных средств по внутрихозяйственным дорогам. Анализ причин [1, 4] показывает, что около 80% несчастных случаев происходит из-за недостаточности организационной работы по их профилактике. Это выражается в неудовлетворительной организации рабочих мест, в недостаточной подготовке управленческого и производственного персонала в области охраны труда, в неприменении средств индивидуальной защиты (СИЗ) или использовании отработавших срок СИЗ, в пренебрежении всеми участниками производственного процесса требований охраны труда, в нарушении производственной и технической дисциплины, правил дорожного движения и пожарной безопасности. Изложенное является следствием того, что в результате деструктуризации систем управления практически утеряно управление безопасностью труда на производстве. В настоящее время корни проблемы уходят в недооценку социальной значимости проблем безопасности на всех уровнях управления.

Следствием изложенного является следующая примерная статистика дорожно-транспортных происшествий (ДТП) при нарушении правил дорожного движения (ПДД): нарушение правил объезда и обгона – 38%; превышение скорости – 20%; опьянение водителя – 12%; нарушение правил маневрирования – 8%; нарушения при проезде перекрёстков – 6%; нарушение при проезде железнодорожных переездов – 5%; нарушение правил перевозки пассажиров – 4%; несоблюдение дистанции – 3%; переутомление, засыпание (дремота) водителя за рулём – 2%; неподчинение сигналам светофора – 2%.

Самым опасным из всех видов транспорта является автомобиль. В дорожно-транспортных происшествиях гибнет больше всего людей. Среди причин дорожно-транспортных происшествий выделяют технологические, технические и личностные (человеческие) факторы: к авариям приводят, например, обледенения дорожного покрытия, неисправность систем (тормозной, рулевой, световой и др.), усталость водителя. Итоговым результатом сказанного являются данные, приведённые в таблице 1.

Таблица 1

Динамика дорожно-транспортных происшествий в стране за 2010-2012 гг. и январь-февраль 2013 г.

| Общее количество ДТП, число погибших и раненных в них в России | | | | | | | | | | | |
|--|---------|---------|------------------------|---------|---------|---------|------------------------|---------|---------|---------|------------------------|
| ДТП | | | | Погибло | | | | Ранено | | | |
| 2010 г. | 2011 г. | 2012 г. | январь-февраль 2013 г. | 2010 г. | 2011 г. | 2012 г. | январь-февраль 2013 г. | 2010 г. | 2011 г. | 2012 г. | январь-февраль 2013 г. |
| 199431 | 199868 | 203597 | 21987 | 26567 | 27953 | 27991 | 2839 | 250635 | 251848 | 258618 | 28436 |

Анализ данных таблицы 1 указывает на неблагоприятную динамику по всем трем показателям по всем годам. Как видно, число ДТП ежегодно возрастало, равно как число погибших и раненых. Внутригодовой анализ, например, за 2012 г. показал, что число погибших не уменьшилось; уменьшилось по сравнению с 2011 г. на 8,6% только число ДТП по вине пешеходов (стало 28518). Однако число ДТП по вине нетрезвых водителей возросло (стало 12843 или на 4,8% больше, чем в 2011 г.). Несущественно снизилась тяжесть последствий ДТП (количество погибших на 100 пострадавших): в 2010 г. было 10, в 2011 г. – 9,2, а за январь-февраль 2013 г. – 9,1.

Динамика основных видов нарушений ПДД водителями и пешеходами за 2011 г. представлена на рисунке 1.

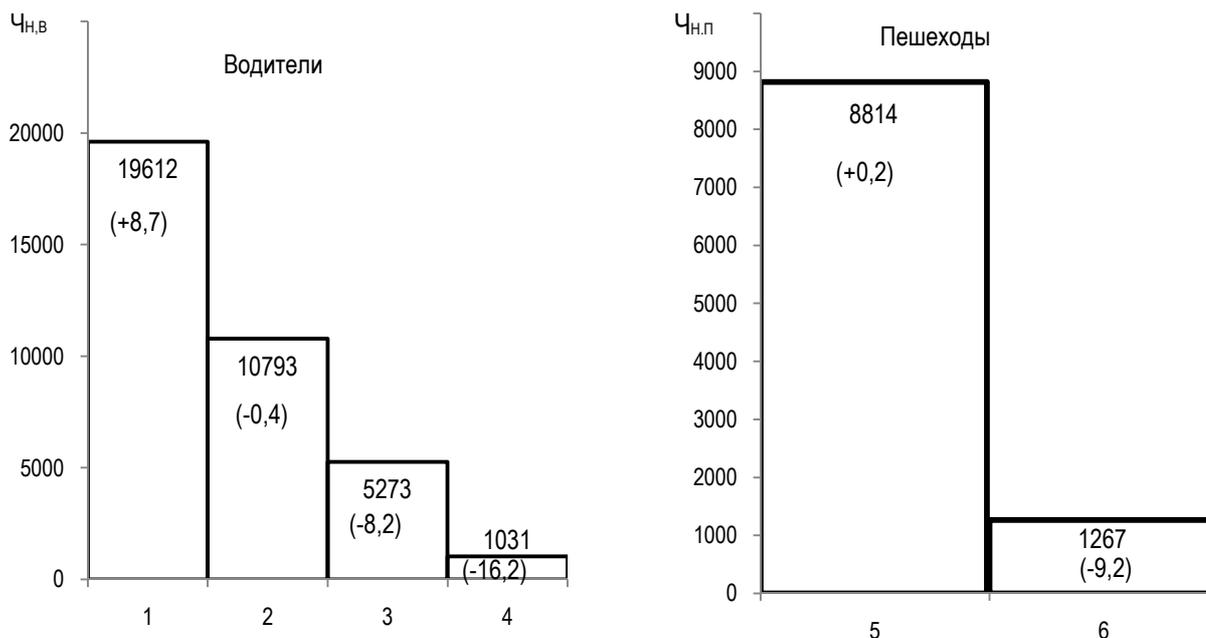


Рис. 1. Виды нарушений ПДД водителями (Чн.в) и пешеходами (Чн.п) и их число за 2011 г.:
 1 – несоответствие скорости конкретным условиям; 2 – несоблюдение очередности проезда перекрестка;
 3 – выезд на полосу встречного движения; 4 – превышение скорости; 5 – переход дороги в неустановленном месте;
 6 – неожиданный выход на проезжую часть.
 Четырех- и пятизначные цифры – количество нарушений в 2011 г., в скобках со знаком «+» или «-» – изменение в процентах по отношению к 2010 г.

Как видно из рисунка 1, рост Чн.в в 2011 г. по сравнению с 2010 г. наблюдается только по показателю 1 – несоответствие скорости конкретным условиям, Чн.п – по показателю 5 – переход дороги в неустановленном месте. По остальным показателям имеет место снижение числа нарушений водителями и пешеходами.

Углубленный анализ ситуации показал, что на риск появления ДТП влияют ряд других факторов, в числе которых погодные условия, качество дорог, день недели и др.

Говоря о состоянии, например, погоды, заметим, что погодный фактор может существенно влиять на возможность ДТП. Общее представление об этом дает осредненные данные, представленные на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2, на ясную погоду приходится 64% ДТП, на пасмурную – 37%, в снегопад и дождь приходится соответственно 5 и 4%, что объясняется повышенной осторожностью и вниманием участников дорожного движения, а также кратковременностью периодов дождей и снегопадов.

Представляет интерес осредненное распределение аварийности по месяцам года (рис. 3).

Как видно из рисунка 3, наибольшее число аварий приходится на апрель и май месяцы, наименее аварийными являются август, сентябрь, декабрь. Рост числа ДТП в весенние месяцы объясняется увеличением плотности движения, нестабильными погодными условиями, ухудшением состояния дорог после зимы, субъективными качествами водителей.

Представляет интерес положения дел с ДТП в одном из центральных регионов страны, например, Брянской области (центральный федеральный округ). По данным работы [2] динамика общего числа ДТП, числа погибших и раненых в них по указанному региону представлена на рисунке 4.

Анализ данных рисунка 4 показывает, что в области имел место существенный рост ДТП, числа раненых в них и погибших. Это говорит о необходимости глубокого изучения проблемы и поиска эффективных путей снижения этих показателей, поскольку картина является типичной и для ряда других регионов страны. Характерным является наличие в автопарках предприятий преобладающего количества автотранспортных средств с низким исходным техническим уровнем и неудовлетворительным техническим состоянием в эксплуатации. Показатели аварийности транспортных средств по причине технических неисправностей в рассматриваемой области за 2005-2009 гг. следующие (по годам с указанием количества ТП, раненых в них и погибших): 2005 г. – имело место 22 ТП, ранено в них 45 чел., погибло 7; 2007 г. – соответственно 19; 29 и 7; 2007 г. – 14; 28 и 3; 2008 г. – 14; 28 и 2; 2009 г. – 14; 15 и 4 (всего 83; 145 и 23) [5].

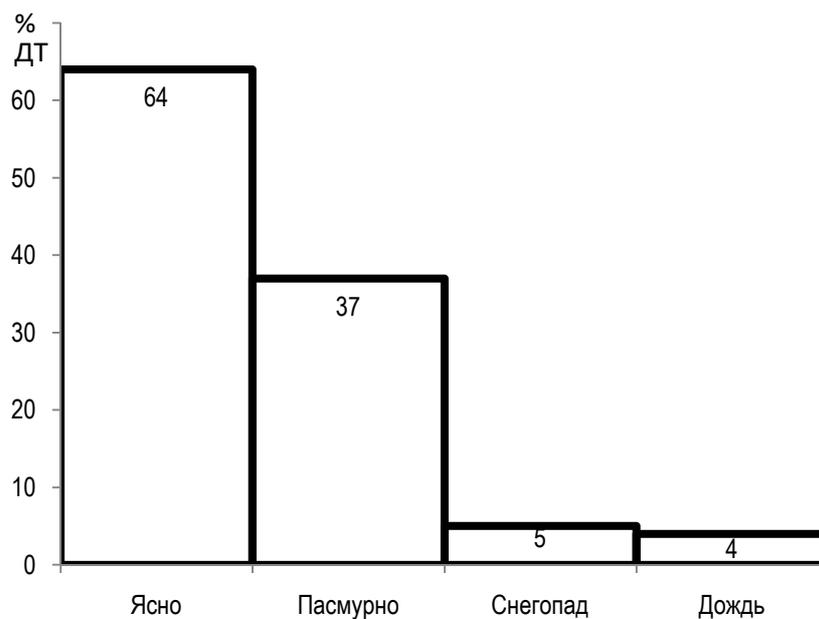


Рис. 2. Ориентировочное распределение осреднённого относительного значения числа ДТП в зависимости от состояния погоды:
цифры в колонках – процент ДТП в названных условиях

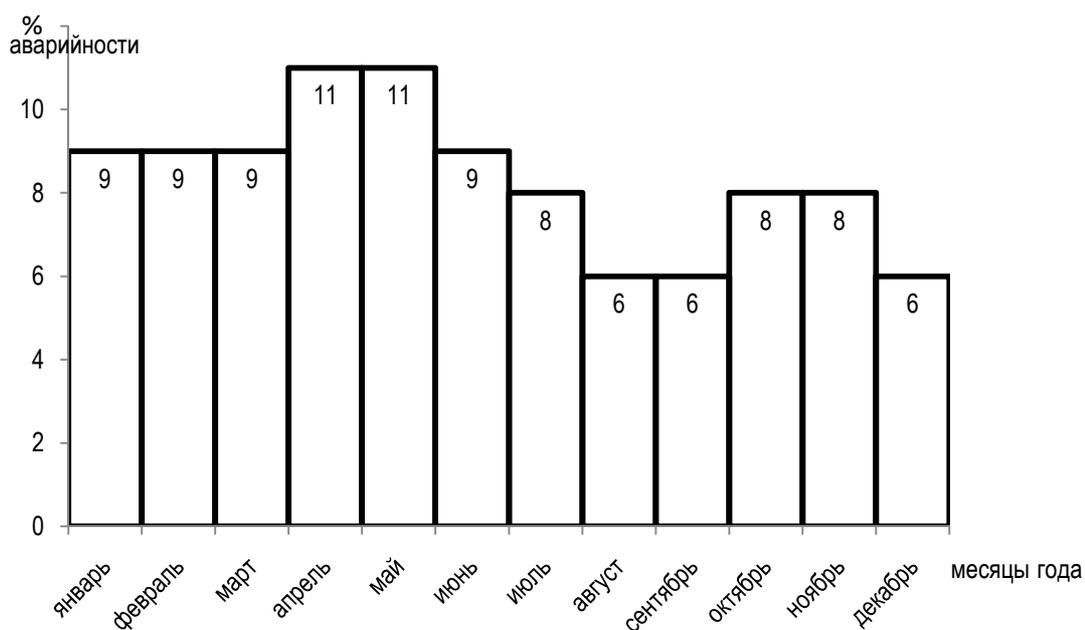


Рис. 3. Осреднённое распределение аварийности автотракторных и транспортных средств, в процентах по месяцам года:
цифры в колонках – процент аварий в данном месяце (в доле от годового количества их)

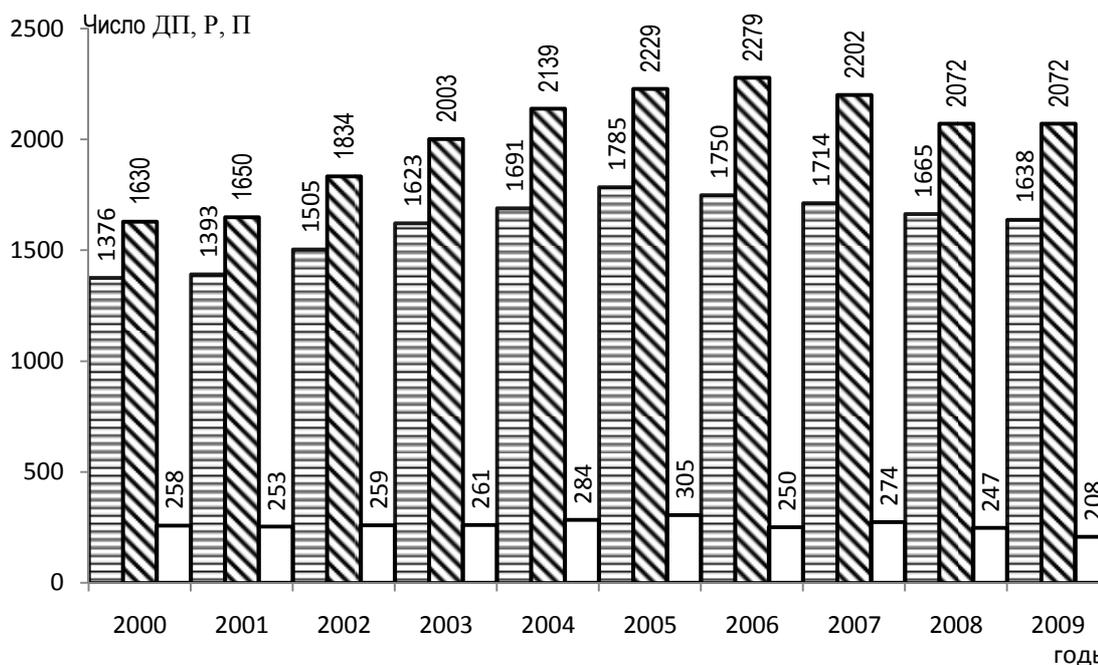


Рис. 4. Динамика числа дорожных происшествий (ДП), количества (P) раненых и погибших (П) в них в Брянской области за 2000-2009 гг.:

▨ – число ДП по годам; □ – число раненых в них; ▤ – число погибших. Цифры в колонках означают число ТП, раненых (P) и погибших (Pi). Общее число ТП составляет 16140, раненных в них – 20180, погибших – 2599

Исследованиями установлено, что около 33% автотранспортных средств имели неисправности, эксплуатация с которыми запрещается [2, 6]. В числе неисправностей типичными явились неисправности тормозных систем (около 25% от общего количества неисправных автомобилей), светотехники (26%) и рулевого механизма (6%). Следствием технических неисправностей являются транспортные происшествия, осреднённое значение которых с 2000-2010 гг. следующее: неисправность рабочей тормозной системы – 33,75% и внешних световых приборов – 18,26%; износ рисунка протектора – 14,73%; отсоединение колёс – 10,23%; неисправность рулевого механизма – 3,75%, сцепного устройства – 3,44% и тормозной системы прицепа – 3,34%; неисправность иных элементов конструкции – 15,9% [6].

Касаясь любого из сельских районов в рассматриваемом плане, например, Красногорского той же области, отметим, что на дорогах обслуживания отделом ГИБДД УМВД России по Красногорскому району произошло за 2012 г. 75 ДТП с пострадавшими, в которых погибло 13 человек, получили ранение 86 человек. Имело место 5952 ДТП с материальным ущербом (в 2011 г. таких было 5279) и 9 ДТП с детьми, в которых 7 детей были травмированы, являясь пешеходами, 2 – пассажирами. Тяжесть последствий ДТП составляла в 2012 г. 13 погибших на 100 пострадавших (против 10 – в 2011 г.). Наиболее аварийными днями в 2011 и 2012 гг. были понедельник, вторник, четверг и воскресенье. Характерными были следующие виды ДТП: наезд на пешехода – 48%; столкновение – 37%; наезд на стоящее транспортное средство – 6%; наезд на препятствие – 6%. Следует заметить, что неудовлетворительное состояние дорог в районе существенно влияет на тяжесть последствий. Так тяжесть последствий ДТП с неудовлетворительными дорожными условиями составляет 27 погибших на 100 пострадавших, а в ДТП с удовлетворительными дорожными условиями – 9. На основании топографического анализа в районе было выявлено в 2012 г. 6 мест концентраций ДТП против 8 – в 2011 г. Основными нарушениями правил дорожного движения, приведшими к ДТП, были: выезд на сторону проезжей части встречного транспорта – 10 ДТП (против 7 – в 2011 г.); несоблюдение очередности проезда – 13 ДТП (2011 г. – 10); превышение скорости – 6 (против 2 – в 2011 г.). В процентном отношении указанные происшествия составляют 16,23 и 10% соответственно.

Таким образом, несмотря на принимаемые меры, в 2012 г. в районе произошло увеличение ДТП с 77 в 2011 г. до 79 – в 2012 г.; возросла тяжесть последствий. Указанная ситуация является характерной для большинства регионов страны. Это вынуждает осуществлять поиск эффективных путей снижения числа ДТП. Анализ показывает [7], что в числе таких ряд трудовых мероприятий, однако [8] степень их эффективности и готовности к использованию различна. Характерной их особенностью является новизна решений с учётом запросов практики и анализ обстановки с транспортной безопасностью. Как известно [8], такими являются нормативно-правовое, организационно-техническое, санитарно-гигиеническое, медико-биологическое, эргономическое, инженерно-техническое, технико-экономическое, кадровое и научное обеспечение

безопасности и безвредности работ. Этими положениями должна быть дополнена ныне существующая система профилактики. На базе этих положений сформирована стратегия и тактика динамического снижения и ликвидации производственного травматизма и профзаболеваний. По мнению авторов, все перечисленные мероприятия являются важнейшими на пути достижения цели. В некоторых из них осуществлён практически прорыв, позволяющий добиться желаемых результатов.

Современное состояние транспортной безопасности в стране вызывает тревогу и нуждается в экстренных решениях. Обоснованными первоочередными путями решения проблемы является научное, кадровое, инженерно-техническое, организационно-техническое направление профилактики, отличающиеся новизной и апробированием в практике производства и эксплуатации транспортно-технологических средств.

Библиографический список

1. Шкрабак, В. С. Теория и практика обеспечения безопасности дорожного движения в АПК : монография / В. С. Шкрабак, Е. Н. Христофоров, Н. Е. Сакович. – Брянск : Брянский ГСХА, 2008. – 285 с.
2. Никулин, В. В. Снижение аварийности и транспортного травматизма работников сельскохозяйственного производства за счёт инженерно-технических мероприятий : дис. ... канд. техн. наук : 05.26.01 / Никулин Валерий Владимирович. – СПб., 2012. – 201 с.
3. Христофоров, Е. Н. Причины травматизма операторов мобильных машин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2004. – №12. – С. 39-40.
4. Христофоров, Е. Н. Травматизм операторов мобильных машин в АПК // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – №2. – С. 20-21.
5. Христофоров, Е. Н. Безопасность транспортных работ в АПК // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007. – №6. – С. 55-56.
6. Шкрабак, В. С. Обеспечение безопасности водителей транспортных средств / В. С. Шкрабак, Е. Н. Христофоров, Н. Е. Сакович, М. М. Пехтерев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2008. – №7. – С. 32-33.
7. Шкрабак, В.С. Совершенствование методов и анализа ДТП / В.С. Шкрабак, Е. Н. Христофоров, Н. Е. Сакович [и др.] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2008. – №8. – С. 45-46.
8. Шкрабак, В. В. Стратегия и тактика динамического снижения и ликвидации производственного травматизма в АПК (теория и практика) : монография. – СПб. : СПбГАУ, 2007. – 580 с.

УДК 631.363.7

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНО-КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СМЕСИТЕЛЯ СУХИХ КОРМОВ С ЛОПАСТНО-ЛЕНТОЧНЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ

Коновалов Владимир Викторович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Теоретическая и прикладная механика» ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная технологическая академия».

440014, Пензенская область, г. Пенза, ул. Кордон Студеный, д. 25А.

Тел.: 8-927-286-85-93.

Терюшков Вячеслав Петрович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка» ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия».

440007, Пензенская область, г. Пенза, 1-й Городищенский проезд, д. 7-1.

Тел.: 8(8412) 62-85-79.

Чупшев Алексей Владимирович, канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка» ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия».

440014, Пензенская область, г. Пенза, п. Ахуны, ул. Конструкторская, д.12.

Тел.: 8(8412) 62-85-79.

Коновалов Виктор Владимирович, инженер ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия».

440014, Пензенская область, г. Пенза, ул. Кордон Студеный 25А.

Тел.: 8(8412) 62-85-79.

Ключевые слова: смешивание, коэффициент, вариация, неравномерность, мешалка, энергоёмкость, перемешивание, мощность, привод.

Дается описание смесителя непрерывного действия с комбинированным рабочим органом. Представлены результаты экспериментальных исследований смесителя по определению неравномерности смеси, потребляемой мощности, энергоёмкости перемешивания. Обоснованы параметры комбинированного рабочего органа: частота вращения рабочего органа – 240 мин⁻¹ при 6 прутковых лопастях.

Одним из высокоэффективных видов кормовых смесей являются комбикорма как полнорационные для свиней и птицы, так и комбикорма-концентраты для КРС. С целью повышения экономической эффективности использования комбикормов и снижения их стоимости, хозяйства стремятся использовать собственный

фураж и покупные БВД, обладающие в составе комбикорма 10-20% массы. К сожалению, далеко не все смесители способны приготавливать смеси надлежащего качества. Вторым недостатком смесителей является высокая энергоемкость смесеобразования. Существует большое разнообразие указанных устройств, но далеко не все из них способны приготавливать качественную смесь определенной рецептуры в конкретных технологических условиях.

Цель исследований – снижение энергоемкости приготовления смеси концентрированных кормов (комбикормов-концентратов) при соблюдении зоотехнических требований на качество смеси.

Задачи исследований:

- 1) установление функциональной зависимости между конструктивно-кинематическими параметрами смесителя и показателями технологического процесса;
- 2) выявление оптимальных либо рациональных значений параметров смесителя, обеспечивающих лучшее качество смеси и минимальную энергоемкость смесеобразования.

Для обеспечения рецептуры комбикормов компоненты данных смесей подлежат дозированию и последующему смешиванию. Под смешиванием понимают процесс равномерного распределения частиц компонентов конкретного корма в общем объеме, в результате чего получают однородную кормовую смесь [1, 2].

Равномерность смеси определяют по формуле

$$V_p = (100 - v). \quad (1)$$

В качестве показателя неравномерности смешивания используют коэффициент вариации v , %, фактического распределения контролируемого или контрольного компонента в пробах [2]:

$$v = 100 \cdot S / \bar{X}, \%, \quad (2)$$

где S – эмпирическое (опытное) среднеквадратическое отклонение:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Xn_i - \bar{X})^2}{N - 1}}; \quad (3)$$

\bar{X} – среднее арифметическое значение контрольного компонента во всех взятых пробах, г;

N – общее количество проб, 15-20 шт.

Чем меньше значение коэффициента вариации v , тем качественнее распределены компоненты в смеси.

Применяемые смесители по принципу действия подразделяют на смесители непрерывные и периодические. При непрерывном дозировании компонентов используют смесители непрерывного действия. Они менее энергоемки, однако соблюдение рецептуры в них сложнее из-за недостаточно точной настройки дозаторов [2-6].

Для смешивания сухих кормов наиболее эффективны смесители с лопастными рабочими органами [7-10]. Из исследований [3, 7, 10] известен ряд рациональных параметров лопастных рабочих органов смесителей. Используя указанные данные, в Пензенской ГСХА был разработан смеситель сухих концентрированных кормов непрерывного действия (рис. 1).

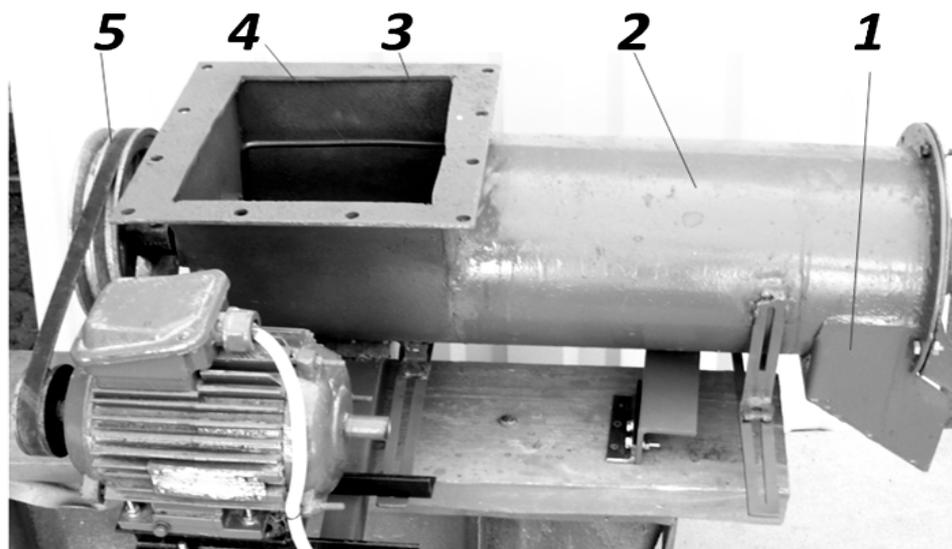


Рис. 1. Смеситель с комбинированным рабочим органом:

1 – выгрузной лоток; 2 – кожух; 3 – загрузная воронка; 4 – рабочий орган; 5 – привод

Смеситель представляет собой горизонтальный кожух 2 с загрузной воронкой 3 и выгрузным лотком 1. Внутри кожуха установлен горизонтальный вал с приводом 5 от электродвигателя через клиноременную передачу. На валу установлен комбинированный рабочий орган 4, который состоит из прутковой П-образной лопастной мешалки, расположенной в районе загрузной воронки 3, и двухзаходного спирально-винтового пруткового конвейера, размещенного в районе цилиндрической части кожуха 2. Компоненты смеси, загружаемые непрерывным потоком в смеситель через загрузную воронку 3, активно перемешиваются внутри кожуха 2 прутковыми лопастями П-образной мешалки в зоне загрузного отверстия. По мере увеличения высоты слоя материала в смесителе в районе загрузной воронки 3, часть материала ссыпается под собственным весом и воздействием лопастной мешалки на спирально-винтовой прутковый конвейер. Конвейер транспортирует материал вдоль кожуха к выгрузному лотку 1 и дополнительно перемешивает его.

План проведения исследований соответствовал полнофакторному плану 2³. Уровни варьирования факторов соответствовали: количество лопастей мешалки – 3; 4; 6 шт.; частота вращения вала – 110; 230; 350 мин⁻¹. Дополнительные частоты вращения – 180 и 280 мин⁻¹. Методика опытов предусматривала подачу контрольного компонента (зерна ячменя) в количестве 2,5%. Наполнитель: дерть ячменная и пшеничная в пропорции (1:1), насыпной плотностью 710 кг/м³. Количество проб для определения качества смеси – 20 шт. Масса пробы – 100 г.

В результате обработки результатов экспериментов получено выражение неравномерности смеси (коэффициента вариации содержания контрольного компонента в пробах), %:

$$v = 118,6483 - 0,52621 \cdot n + 0,00058 \cdot n^2 + 0,034409 \cdot Z \cdot n - 8,09237 \cdot Z - 0,3506 \cdot Z^2, \quad (4)$$

где n – частота вращения рабочего органа, мин⁻¹; Z – количество лопастей рабочего органа, шт.

Коэффициент корреляции $R=0,91789$. Ф-тест = 0,969869.

С увеличением частоты вращения и количества лопастей неравномерность смеси понижается. При доле контрольного компонента в составе смеси 2,5% коэффициент вариации менее 20% соответствует частоте вращения 240 мин⁻¹ и более. Лучшие значения показателей соответствуют шести лопастям.

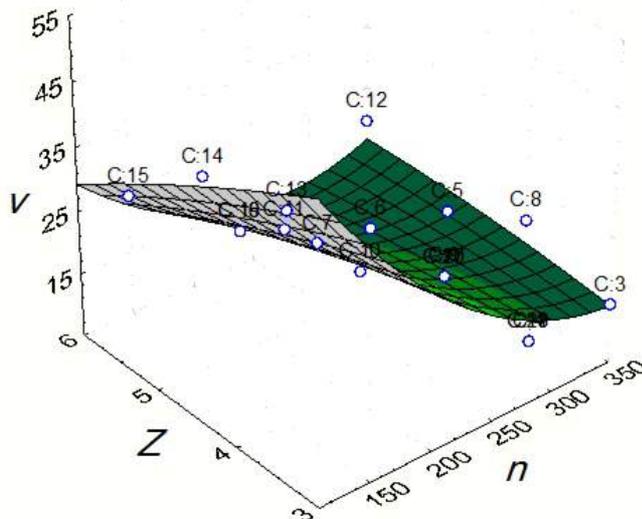


Рис. 2. Влияние количества лопастей мешалки Z (шт.) и частоты вращения рабочего органа n (мин⁻¹) на неравномерность смеси v (%)

В результате обработки опытных данных получено выражение, описывающее потребляемую мощность привода смесителя, Вт:

$$W = 812,6077 - 317,216 \cdot Z + 45,76911 \cdot Z^2 + 2,067434 \cdot n + 0,004361 \cdot n^2 - 0,54485 \cdot Z \cdot n. \quad (5)$$

Коэффициент корреляции $R=0,95265$. Ф-тест 0,86931.

С ростом частоты вращения комбинированного рабочего органа смесителя потребляемая мощность возрастает. Минимальная мощность наблюдается при частоте вращения до 150 мин⁻¹. Количество лопастей, соответствующих минимальной мощности, – 3-5 шт. С увеличением частоты вращения до 350 мин⁻¹ наибольшее затраты мощности соответствуют трем лопастям. Минимум мощности привода при данной частоте вращения смещается к 6 лопастям. Это связано с уменьшением эквивалентной вязкости сыпучих материалов при росте частоты воздействия на них. Чем выше частота воздействий, тем большее количество материала находится во взвешенном состоянии, отдаленно напоминающем псевдокипящий слой. Это уменьшает сопротивление материала движению лопастей.

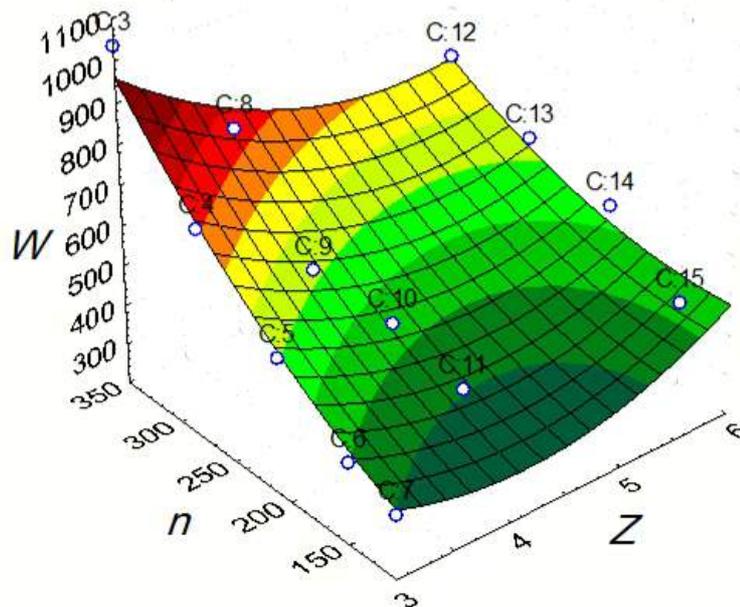


Рис. 3. Влияние количества лопастей мешалки Z (шт.) и частоты вращения рабочего органа n (мин⁻¹) на мощность, потребляемую приводом смесителя W (Вт)

В результате расчета и обработки данных получено выражение, описывающее энергоёмкость смесеобразования, Дж/кг:

$$Y = 439,41 + 1,318673 \cdot n + 0,001381 \cdot n^2 - 0,23547 \cdot Z \cdot n - 183,533795 \cdot Z + 24,41775 \cdot Z^2. \quad (6)$$

Коэффициент корреляции R=0,95818. Ф тест = 0,884772.

С ростом частоты вращения рабочего органа энергоёмкость возрастает по зависимости близкой к линейной. Это связано с ростом мощности на привод смесителя. При малой частоте вращения (до 200 мин⁻¹) минимум энергоёмкости приходится на 4-5 лопастей. При частоте вращения 300 мин⁻¹ и выше минимум энергоёмкости смещается к 5-6 лопастям. Самая высокая энергоёмкость наблюдается при 3 лопастях и наибольшей частоте вращения.

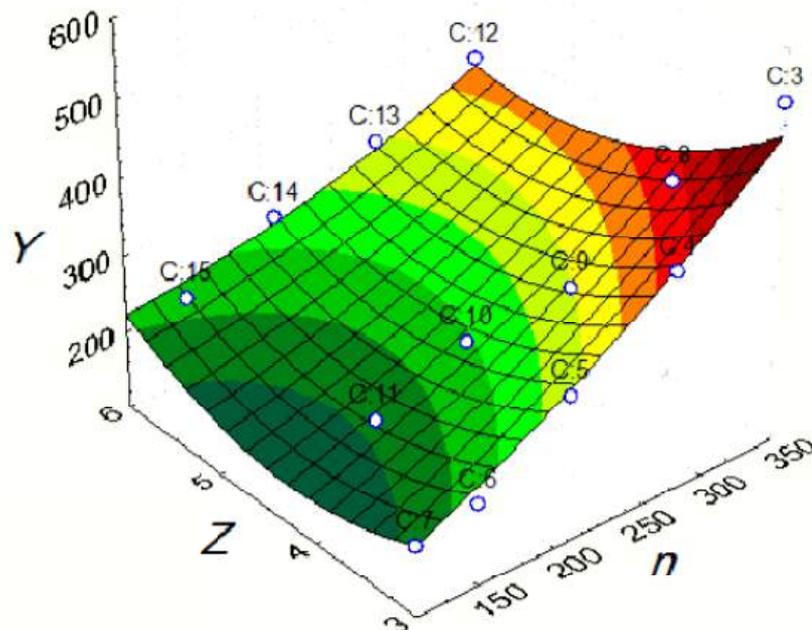


Рис. 4. Влияние количества лопастей мешалки Z (шт.) и частоты вращения рабочего органа n (мин⁻¹) на энергоёмкость смешивания Y (Дж/кг)

Энергоёмкость смесеобразования, скорректированная с учетом равномерности смеси, Дж/кг, определяется по формуле

$$Y_k = \frac{Y}{1 - 0,01 \cdot v}. \quad (7)$$

В результате расчета и обработки данных получено выражение энергоёмкости смесеобразования с учетом равномерности смеси, Дж/кг:

$$Y_k = 1138,738 - 0,408 \cdot n + 0,00272 \cdot n^2 - 0,00718 \cdot Z \cdot n - 353,296 \cdot Z + 35,53292 \cdot Z^2 \quad (8)$$

Коэффициент корреляции $R=0,90007$. Ф-тест $0,821174$.

Характер изменения значений данного показателя близок к изменению энергоёмкости смесеобразования. Однако наибольшие значения скорректированной энергоёмкости соответствуют как трем, так и шести лопастям при наибольшей частоте вращения рабочего органа. Минимум энергоёмкости наблюдается при 5-ти лопастях.

Тем самым, количество лопастей 5 шт. является оптимальным значением по критерию энергоёмкости смесеобразования, скорректированной с учетом равномерности смеси. Однако, учитывая незначительное изменение энергоёмкости при 5 и 6 лопастях, а также лучшие качественные показатели смеси при частоте вращения рабочего органа более 300 мин^{-1} и при 6 лопастях, данные конструктивно-кинематические параметры следует считать рациональными значениями и использовать их при последующем обосновании технологических параметров (производительности и доле контрольного компонента) смесителя.

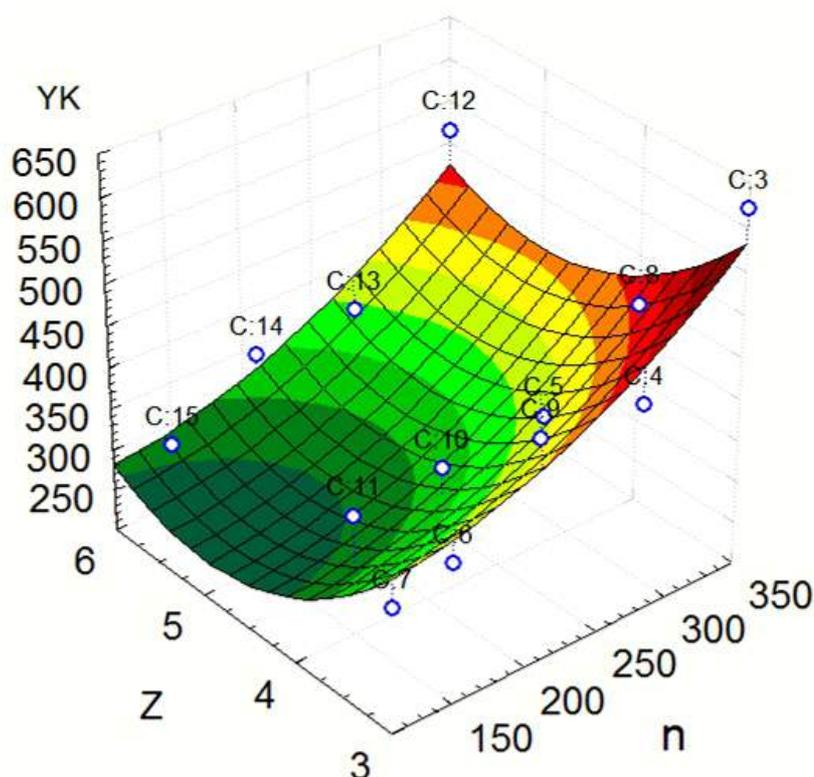


Рис. 5. Влияние количества лопастей мешалки Z (шт.) и частоты вращения рабочего органа n (мин^{-1}) на скорректированную энергоёмкость смешивания Y_k (Дж/кг)

При малых частотах вращения рабочего органа ($150-200 \text{ мин}^{-1}$) минимальная энергоёмкость процесса соответствует 4-5 лопастям, однако при этом наблюдается низкое качество (неравномерность) приготавливаемой смеси. Лучшие значения качества смеси соответствуют частоте вращения $300-350 \text{ мин}^{-1}$ при количестве лопастей 6 шт. Учитывая стабилизацию величины коэффициента вариации контрольного компонента в пробах (неравномерность смеси) дальнейшее увеличение частоты вращения для повышения качества смеси не целесообразно. При частоте вращения $300-350 \text{ мин}^{-1}$ меньшие значения мощности и энергоёмкости смещаются от трех к шести лопастям.

Для выявления зоны технологической работоспособности предлагаемого смесителя требуется проведение дополнительных исследований по выявлению влияния доли контролируемого компонента и производительности смесителя на качество смеси.

Таким образом, наиболее оптимальными параметрами рабочего органа предложенного смесителя является количество П-образных лопастей мешалки равное шести при частоте ее вращения $300-350 \text{ мин}^{-1}$.

Библиографический список

1. Сыроватка, В. И. Новые технические решения приготовления комбикормов в хозяйствах / В. И. Сыроватка, Н. В. Обухова, А. С. Комарчук // Кормопроизводство. – 2010. – №7. – С. 42-45.

2. Коновалов, В. В. Повышение эффективности средств механизации приготовления и выдачи кормосмесей в свиноводстве : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Коновалов Владимир Викторович. – Пенза, 2005. – 24 с.
3. Коновалов, В. В. Оптимизация параметров смесителя по минимуму энергоемкости перемешивания / В. В. Коновалов, А. В. Чупшев, С. С. Петрова // Известия Самарской ГСХА. – 2009. – №3. – С. 72-76.
4. Мишин, К. М. Устройство для внесения жира в концентрированные корма / К. М. Мишин, В. В. Коновалов, А. А. Курочкин // Техника в сельском хозяйстве. – 2004. – №2. – С. 9-10.
4. Иноземцева, Л. В. Влажный корм аппетитней / Л. В. Иноземцева, В. В. Коновалов // Сельский механизатор. – 2002. – №10. – С. 22.
5. Власов, А. А. Обоснование вероятностными методами параметров смесительной камеры при взаимодействии потоков компонентов / А. А. Власов, В. В. Коновалов // Вестник СГАУ им. Н. И. Вавилова. – 2003. – №3. – С. 63-66.
6. Кухарев, О. Н. Результаты исследований барабанного дражировщика / О. Н. Кухарев, И. Н. Сёмов, А. М. Чирков // Нива Поволжья. – 2010. – №1. – С. 54-57.
7. Терюшков, В. П. К вопросу влияния высоты слоя корма и диаметра лопасти на перемещение материала / В. П. Терюшков, А. В. Чупшев, В. В. Коновалов // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве с/х продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства : сб. науч. докл. XVI Международной науч.-практ. конференции. – Тамбов : Изд-во Першина РВ, 2011. – С. 64-67.
8. Новиков, В. В. Обоснование параметров лопастной мешалки / В. В. Новиков, С. П. Симченкова, В. И. Курдюмов // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2011. – №2. – С. 104-108.
9. Коновалов, В. В. Теоретическое обоснование основных конструктивных и режимных параметров смесителя кормов периодического действия / В. В. Коновалов, А. В. Чупшев // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : мат. Международной науч.-практ. конф. – Минск : НПЦ НАН Беларуси по механизации с/х, 2011. – Т. 2. – С. 148-153.
10. Чупшев, А. В. Экспериментальные исследования смесителя кормов / А. В. Чупшев, В. В. Коновалов, С. В. Гусев // Нива Поволжья. – 2008. – №2. – С. 69-75.

УДК 658.382.2

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ТРАВМАТИЗМА В АПК И ПУТЕЙ ЕГО СНИЖЕНИЯ

Шкрабак Роман Владимирович, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Безопасность технологических процессов производств» ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет».
196601, Санкт-Петербург – Пушкин, Петербургское шоссе, д. 2.
Тел.: 8(812)451-76-18.

Ключевые слова: анализ, теоретический, распределение, показатель, частота, травматизм, пути, снижение.

В статье приведена принципиальная схема взаимосвязи видов работ в АПК, поражающих факторов и исходов травмирования в с.-х. производстве, а также теоретический анализ распределения показателя частоты травматизма в АПК и обоснованные пути его снижения. Доказано, что коэффициент частоты травматизма распределяется на предприятиях АПК по нормальному закону.

Сельскохозяйственное производство в стране и мире является одной из отраслей с самым большим многообразием видов работ, диктуемых выращиваемыми культурами, их технологиями, методами и средствами выполнения, погодой, периодом года, агробиологическими сроками и др. обстоятельствами. Эта многопрофильность работ приводит к возникновению своеобразных травм и влиянию этого многообразия на виды и количество травм. Причем в каждом периоде года встречаются травмы, характерные для круглогодичного периода (например, опрокидывание агрегатов, придавливание кузовами самосвалов и прицепов и др.), для определенного сезона (например, обморожение зимой, травмы на ледовых переправах и др.), и травмы, имеющие место при выполнении отдельных видов работ в растениеводстве, животноводстве, строительстве, на сенозаготовках (транспортные, погрузочно-разгрузочные и др.). Проявляются травмы в виде термических, химических, механических, электромагнитных, психофизиологических, радиационных, биологических и др. воздействий на организм в целом и его составляющие. По исходам различают травмы летальные, тяжелые, с временной утратой трудоспособности.

Существующая в мире и стране система профилактики травматизма, в общем, является не совсем эффективной, хотя и заслуживает одобрения. Вместе с тем, наличие производственных травм свидетельствует о неиспользованных потенциальных возможностях существующей системы профилактики для динамичного снижения и ликвидации производственного травматизма; сложившаяся ситуация полностью соответствует требованиям Конституции Российской Федерации [1], главы X Трудового кодекса страны [2], требованиям системы стандартов безопасности (ССБТ) [3, 4], обоснованной стратегии и тактики динамичного снижения

и ликвидации производственного травматизма в АПК [5]. Кроме того, нуждаются в теоретическом анализе распределение показателей травматизма, в частности $K_ч$, и пути его снижения [6].

Цель исследований – обоснование принципиальной схемы взаимосвязи видов работ в АПК, поражающих факторов при их выполнении и исходов травмирования.

Задачи исследований – провести анализ источников травмирования и их видов на основных сельскохозяйственных работах, выполнить теоретический анализ распределения показателя частоты травматизма и обосновать пути его снижения.

Анализ типичных сельскохозяйственных работ позволил обосновать принципиальную схему взаимосвязи видов работ в АПК, поражающих и травмирующих факторов, их исходов травмирования при выполнении различных работ в типичные периоды года. Предложенная схема представлена на рисунке 1.

Анализ рисунка 1 показывает, что в сельскохозяйственном производстве, являющемся многоотраслевым, наличествует многофакторная ситуация травмирования практически по всем показателям (по источникам травмирования, времени и тяжести его, частоты происхождения, исходов, сезонам работ и их видам и др.).

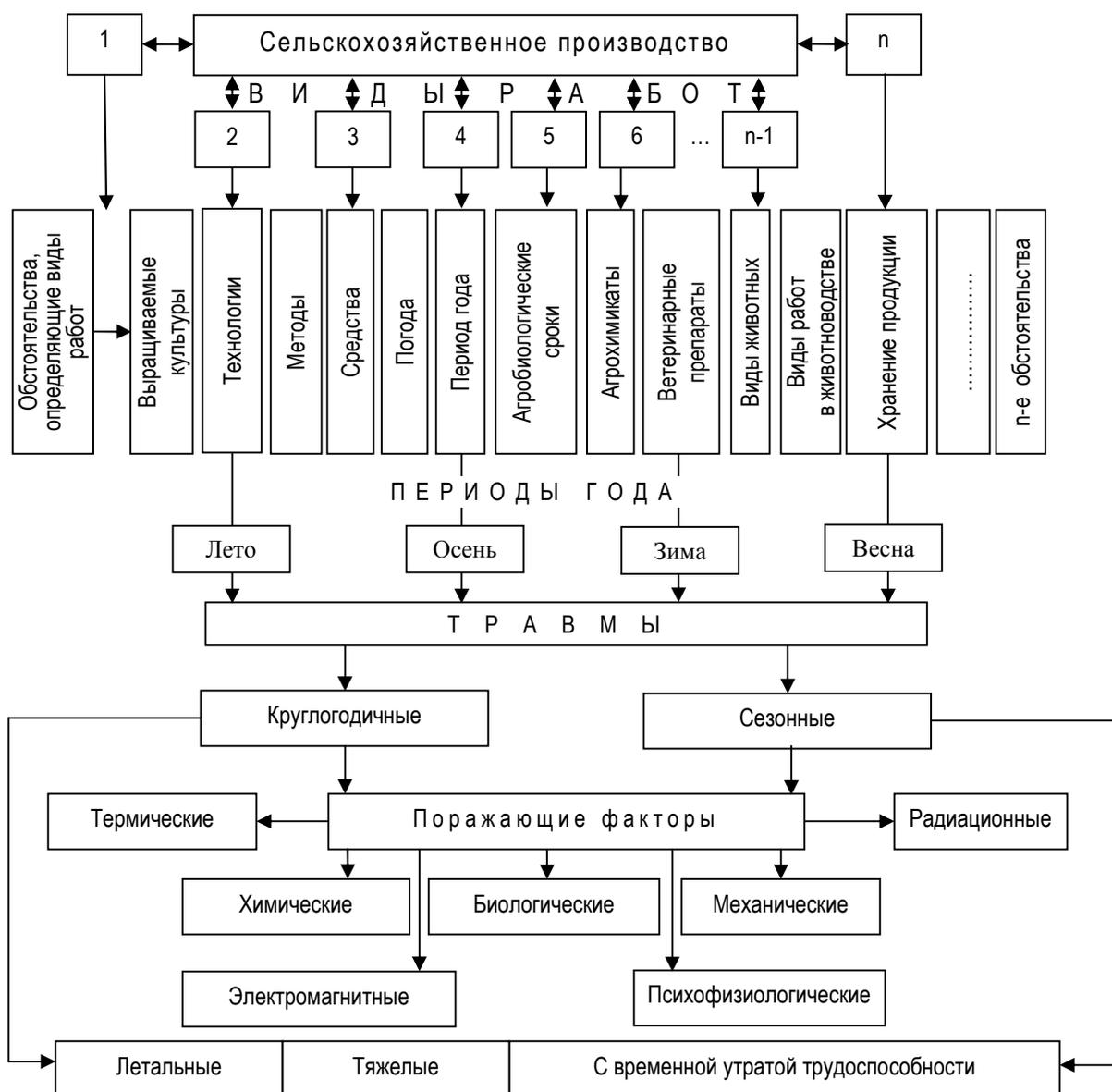


Рис. 1. Принципиальная схема взаимосвязи видов работ в АПК:

1, 2, ... n – виды работ; n-е обстоятельства – многообразие обстоятельств, генерирующее многообразие видов работ

Рассматривая эту ситуацию применительно к отрасли, положим, что число травмоопасных ситуаций в год N_g , а число их, приведших к i -й травме за это время, N_i . Учитывая особенности сельскохозяйственного производства (его многоплановость и многофакторность), а также неопределенность поведения оператора (человека) в условиях, приведших к травме, правомерно полагать, что как N_g , так и все N_i есть случайные

величины. Сумма $\sum_{i=1}^K N_i$ определяет число травмоопасных ситуаций, приводящих к появлению K травм в течении года. Очевидно, что реализациями случайной величины K является k . Число травмоопасных ситуаций N_k , возникающих (или могут возникнуть) после реализации K_i травм определим так:

$$N_k = N_r - \sum_{i=1}^k N_i. \quad (1)$$

Тогда вероятность

$$\beta_k = P(K < k) = P(N_k < 0) \quad (2)$$

будет функцией распределения случайной величины K .

Разделив величины под знаком вероятности в выражении (2) на число работающих (для больших предприятий – в тысячах) M и обозначив

$$X = K/M; \quad x = k/M, \quad (3)$$

получим функцию распределения случайной величины X :

$$F(X) = P(X < x) = P(N_k/M < 0). \quad (4)$$

Поскольку для региона N_k есть сумма достаточного большого числа случайных величин, естественно полагать ее распределение по нормальному закону. Положим, что вес N_i – независимые случайные величины с распределением, совпадающим с распределением случайной величины N . Тогда для N имеем математическое ожидание и дисперсию:

$$m_{(N_k/M)} = \frac{m_{N_2} - Km_N}{M}; \quad D_{(N_k/M)} = \frac{D_{N_2} + KD_{N_2}}{M^2}. \quad (5)$$

Обозначая

$$m_{N_r}/Mm_N = n_1; \quad D_{N_2}/MD_N = n_2; \quad m_N(M/D_N)^{0.5} = \mu, \quad (6)$$

с учетом нормального распределения N_k имеем для случайной величины X функцию распределения:

$$F(x) = 0,5[1 - \Phi(\mu(n_1 - x)/(n_2 + x)^{0.5})], \quad (7)$$

где $\Phi(x)$ – функция Лапласа

$$\Phi(x) = (2/\pi)^{0.5} \int_0^x e^{-0.5\xi^2} d\xi. \quad (8)$$

Дифференцируя, получаем плотность распределения

$$f(x) = F'(x) = \frac{0,5\mu(n_1 + 2n_2 + x)}{\sqrt{2\pi}(n_2 + x)^{1.5}} e^{-\frac{0,5\mu^2(n_1 - x)^2}{(n_2 + x)}}. \quad (9)$$

Находим математическое ожидание m_x и дисперсию D_x распределения, которую назовем X -распределением.

Обозначим:

$$n = n_1 + n_2; \quad y = n_2 + X. \quad (10)$$

Плотность распределения имеет вид:

$$f(y) = \frac{0,5\mu(n+y)}{\sqrt{2\pi}} e^{-0,5\mu^2(n-y)^2 \cdot y^{-1}}. \quad (11)$$

Определим начальный момент α_m « m » порядка:

$$\alpha_m = m_{y^m} = \frac{0,5\mu}{\sqrt{2\pi}} \int_0^\infty y^{m-1,5} (n+y) e^{-0,5\mu^2(n-y)^2 \cdot y^{-1}} dy.$$

Введем обозначение

$$\lambda = 0,5\mu\sqrt{n} \quad (12)$$

и, вводя новую переменную $z = n - z$, разобьем интеграл на два:

$$\alpha_m = \frac{0,5\lambda n^m}{\sqrt{2\pi}} \left[\int_0^1 Z^{m-1,5} (1+Z) e^{-\frac{\lambda^2(1-Z)^2}{Z}} dZ + \int_0^\infty Z^{m-1,5} (1+Z) e^{-\frac{\lambda(1-Z)^2}{Z}} dZ \right].$$

Вводя во второй интеграл замену $Z = 1/s$, получим для α_m :

$$\alpha_m = \frac{0,5\lambda n^m}{\sqrt{\pi}} \int_0^1 \left(\frac{1}{\sqrt{Z}} + \sqrt{Z} \right) \left(Z^{m-1} + \frac{1}{Z^{m+1}} \right) e^{-\lambda^2 \left(\frac{1}{\sqrt{Z}} - \sqrt{Z} \right)^2} dZ.$$

Очередная замена вида

$$1/\sqrt{Z} - \sqrt{Z} = t \quad (13)$$

приводит к интегралу:

$$\alpha_m = m_{y^m} = \frac{\lambda n^m}{\sqrt{\pi}} \int_0^\infty \left(Z^m + \frac{1}{Z^m} \right) e^{-\lambda^2 t} dt. \quad (14)$$

Возводя выражение (13) в целые степени, получаем:

$$\begin{aligned} \frac{1}{Z} + Z = t^2 + 2; \quad \frac{1}{Z^2} + Z^2 = t^4 + 4t^2 + 2; \\ \frac{1}{Z^3} + Z^3 = t^6 + 6t^4 + 9t^2 + 2 \end{aligned} \quad (15)$$

и т.д.

Теперь вычисление начальных моментов сводится к вычислению интегралов типа

$$J(m) = \int_0^{\infty} t^m e^{-\lambda^2 t^2} dt. \quad (16)$$

Интегрируя выражение (16) по частям, получаем:

$$J(m) = \frac{m-1}{2\lambda^2} J(m-2). \quad (17)$$

Используя выражения (16) и (17), имеем:

$$J(0) = \frac{\sqrt{\pi}}{2\lambda}; \quad J(2) = \frac{3\sqrt{\pi}}{8\lambda^3}; \quad J(4) = \frac{5\sqrt{\pi}}{8\lambda^5} \dots \quad (18)$$

Далее в соответствии с (14-18) получим:

$$m_y = n \left(1 + \frac{1}{4\lambda^2} \right); \quad m_{y^2} = n^2 \left(1 + \frac{1}{\lambda^2} + \frac{3}{8\lambda^4} \right). \quad (19)$$

Переходя к дисперсии, имеем:

$$D_y = m_y - m_{y^2} = n^2 \left(\frac{1}{2\lambda^2} + \frac{5}{16\lambda^4} \right), \quad (20)$$

$$m_x = n_1 + \frac{1}{2\mu^2}; \quad D_x = \frac{n_1 + n_2}{\mu^2} + \frac{5}{4\mu^4}. \quad (21)$$

Зная математическое ожидание m_x и дисперсию D_x распределений, а также параметр μ , получим параметры n_1 и n_2 распределений по следующим зависимостям:

$$n_1 = m_x - \frac{1}{2\mu^2}; \quad n_2 = \mu^2 D_x - m_x - \frac{3}{4\mu^2}. \quad (22)$$

Обработку эмпирического материала можно теперь осуществлять следующим образом: по выборке значений $K_ч$ по подразделениям в регионе по итогам травматизма за год находим оценки m_x и D_x (напомним, что в рассматриваемом случае $X=K_ч$). Далее, изменяя значения параметра μ распределения, находим n_1 и n_2 по зависимостям (22). По формуле (17), учитывая, что

$$P(a \leq X < b) = F(b) - F(a),$$

находим вероятность P_i пребывания случайной величины X на « i »-м интервале выборки. По полученным значениям подсчитываем критерий χ^2 Пирсона:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^e \frac{(m_i - nP_i)^2}{P_i n}, \quad (23)$$

где m_i – вероятность наблюдаемых $K_ч$ на « i »-м интервале; P_i – теоретическое значение вероятности пребывания X на этом интервале; n – объем выборки.

Таким образом, подбирается значение параметра μ распределения, соответствующее минимуму критерия Пирсона χ^2 .

Значение μ не может быть меньше некоторого минимального значения, определенного из условия $n_2=0$ (отрицательным n_2 не может быть в силу выражения 6). При этом

$$\mu_{min} = \left[\frac{m_x}{2D_x} \left(1 + \sqrt{1 + 3D_x / (m_x)^2} \right) \right]^{0,5}. \quad (24)$$

При минимальном значении μ_{min} ($n_2=0$) плотность распределения запишем в соответствии с формулой (11). При движении $\mu \rightarrow \infty$ имеем из (22):

$$n \rightarrow m_x; \quad n_2 \sim \mu^2 D_x \rightarrow \infty.$$

Таким образом, в соответствии с выражением (7) получим асимптоту « X »-распределения при больших значениях параметра

$$F(X) = 0,5 \left[1 - \Phi \left(\frac{m_x - X}{\sqrt{D_x}} \right) \right], \quad (25)$$

что представляет собой нормальное распределение.

Применим « X »-распределение для доказательства нормальности распределения параметра $K_ч$ (коэффициента частоты) травматизма.

В таблице 1 приведены фактические значения $K_ч$ по АПК Ленинградской области по 27 подразделениям (за 2010 и 2011 гг.) и по 28 подразделениям за 2012 г. (годы взяты для примера с учетом достоверности данных; можно было взять данные за любые другие годы, где имел место достоверный учет).

Обработка данных таблицы методом χ^2 показывает, что с ростом μ значения χ^2 уменьшаются и стремятся к значениям, приведенным в таблице. Последнее означает, что по фактическим данным $K_ч$ имеет нормальное распределение (поскольку $K_ч$ есть частота событий, умноженная на 1000, то это естественно).

Далее по таблицам распределения [7] находим, что гипотеза нормального распределения $K_ч$ не противоречит эксперименту с уровнем значимости по всем трем годам не ниже 50% (напомним, что общепринятый уровень значимости 5%).

Сравнение фактической m_i и теоретической nP_i встречаемости по хозяйствам Ленинградской области (P_i подсчитано по нормальному закону; А – 2010 г.; Б – 2011 г.; В – 2012 г.)

| А | Кч | [0; 5] | [5; 7] | [7; 9] | [9; 10] | [10; 13] | [13; 0] | m_x | D_x | χ^2 |
|-----|-----|--------|--------|---------|----------|----------|---------|-------|-------|----------|
| | м | 2,0 | 4,0 | 4,0 | 7,0 | 7,0 | 3,0 | 9,26 | 9,3 | 1,56 |
| 27P | 1,6 | 3,4 | 5,4 | 5,9 | 5,3 | 4,0 | - | - | - | |
| Б | Кч | [0; 7] | [7; 9] | [9; 11] | [11; 13] | [13; ∞] | - | 9,17 | 8,47 | 1,14 |
| | м | 5,0 | 9,0 | 9,0 | 5,0 | 2,0 | - | - | - | - |
| 27P | 4,9 | 6,1 | 7,1 | 5,3 | 3,5 | - | - | - | - | |
| В | Кч | [0; 6] | [6; 8] | [8; 10] | [10; 12] | [12; 13] | 13 | 8,95 | 10,45 | 2,05 |
| | м | 4,0 | 5,0 | 6,0 | 5,0 | 6,0 | 2,0 | - | - | - |
| 28P | 4,0 | 5,1 | 6,7 | 6,0 | 3,8 | 2,3 | - | - | - | |

Проблеме посвящались и другие работы. Так в работе [5] близость значений $m_x = m_{Kч}$ и $D_x = D_{Kч}$, указанных в таблице, принималось как признак того, что $Kч$, будучи округленным до целых значений, имеет распределение Пуассона (как число травм, приходящееся на 1000 работающих). По критерию χ^2 эта гипотеза не противоречит наблюдениям с высоким уровнем значимости. Последнее не противоречит полученному результату в части нормального распределения $Kч$, так как при больших значениях математических ожиданий распределение Пуассона асимптотически совпадает с нормальным распределением, для которого $m_x = D_x$. Заметим, что для других случаев такое совпадение уже не будет иметь место, так как при больших N дисперсия $D_{Kч}$ будет заметно меньше $m_{Kч}$.

Вышеизложенное позволяет при решении теоретических и практических проблем, связанных с распределением показателя частоты травматизма в АПК, пользоваться закономерностями нормального распределения.

Касательно путей снижения $Kч$ отметим следующее. Названный показатель является обобщающим в части определения числа травмированных по различным причинам, приходящимся на 1000 человек. Являясь обобщенным выражением ситуации, по его значению невозможно определить источники травматизма, травмоопасные ситуации, виды работ, на которых произошли травмы, время суток и года, пол пострадавших и др. (если только не проводить специальные детальные исследования, как, например, это сделано в работе [8]). В связи с этим фактическими путями его снижения является комплекс трудовых мероприятий, реализованный ныне в стране в целом и на практике АПК. Укрупненно в числе этих мероприятий организационно-технические, нормативно-правовые, санитарно-гигиенические, инженерно-технические, медико-биологические, эргономические, технико-экономические и др. Каждый из названных блоков профилактических мероприятий при его реализации выполняет свою задачу и имеет свои пути профилактики, т.е. воздействия на ситуацию с целью профилактики травм, аварий, пожаров, чрезвычайных ситуаций. Именно благодаря этим мероприятиям сегодня имеем в отрасли положение с травматизмом, характеризующееся ситуацией, когда в отрасли АПК на производстве практически ежедневно травмируется около 10 человек, из них летально – 2-3 человека. В случае если бы названная система профилактики работала менее эффективно (или не работала вообще), положение дел с травматизмом было бы в 5-7 раз хуже. Однако мириться с тем, что имеет место сегодня, тоже нельзя. Существующая ныне профилактическая система сделала, что могла. Анализ ее перспектив показывает, что потенциальные возможности ее близки к исчерпанию. Это и фактическое положение дел с травмами в отрасли вынуждают искать резервы пополнения существующих методов и средств профилактики новыми методами и средствами и переходить на низкотравмоопасные и безопасные технологии производства и методы и средства их реализации, включая роботизацию и безлюдные технологии. В указанном направлении интенсивно работают отраслевые трудовые охранно-образовательные школы во главе с СПбГАУ и ВНИИ социального развития села ОрелГАУ. В этом направлении работы трудовой охранной научной школы СПбГАУ базируется на обоснованной и разработанной концепции – системе управления охраной труда на основе обстоятельного анализа травматизма (количественные показатели, причины, обстоятельства, последствия, временные и половозрастные составляющие и др.), прогнозирования его развития (динамики по перечисленным факторам на краткосрочную и длительную перспективу) [9], обоснование на этой основе путей профилактики по составляющим каждого из названных выше профилактических направлений (блоков).

Библиографический список

1. Российская Федерация. Конституция (1993). Конституция Российской Федерации : офиц. текст. – М. : Маркетинг, 2001. – 39 с.
2. Трудовой кодекс Российской Федерации (с изменениями и дополнениями на 1.11.2010 г.). – М. : Эксмо, 2010. – 192 с.
3. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 295 с.

4. Шкрабак, В. С. Безопасность жизнедеятельности в сельскохозяйственном производстве / В. С. Шкрабак, А. В. Луковников, А. К. Тургиев. – М. : КолосС, 2004. – 512 с.
5. Шкрабак, В. В. Стратегия и тактика динамичного снижения и ликвидации производственного травматизма в АПК (теория и практика) : монография. – СПб. : СПбГАУ, 2007. – 580 с.
6. Шкрабак, Р. В. Теоретическое положение анализа тяжести производственного травматизма в АПК и пути ее снижения // Известия Международной академии аграрного образования. – 2012. – №16. – С. 72-77.
7. Большов, Л. Н. Таблицы математической статистики / Л. Н. Большов, Н. В. Смирнов. – М. : Наука, 1971. – 576 с.
8. Овчинникова, Е. И. Условия и охрана труда женщин в АПК и пути их улучшения : монография / Е. И. Овчинникова, Р. В. Шкрабак. – СПб. : СПбГАУ, 2012. – 298 с.
9. Шкрабак, В. С. Прогнозирование травматизма в АПК и путей его профилактики / В. С. Шкрабак, В. В. Шкрабак, Р. В. Шкрабак [и др.] – СПб. : СПбГАУ, 2002. – 112 с.

УДК.631.363

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ КОРМОВ

Комлик Иван Павлович, аспирант кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».
446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Спортивная, 8а.
Тел.: 8-927-656-16-01.

Ключевые слова: измельчитель, производительность, качество, энергоёмкость.

В статье представлена конструктивно-технологическая схема измельчителя кормов, структурная схема функционирования, а так же структурная схема проведения исследований и последовательности проведения расчетов для выявления оптимальных режимных параметров.

Успешное развитие животноводства в России возможно лишь при наличии техники, способной производить продукцию высокого качества при минимальных затратах денежных средств. Современные технологии и технические средства, должны обеспечивать увеличение выхода продукции; снижение затрат труда, энергетических и материально-технических ресурсов. Актуальным вопросом в настоящее время является создание техники с высокой производительностью и минимальными энергозатратами для фермерских хозяйств [1, 2, 3, 6].

Эффективное производство продукции животноводства во многом зависит от правильного приготовления кормов.

Из всего многообразия существующих способов переработки кормов, наибольшее применение получила механическая технология приготовления кормов.

В механической технологии приготовления кормов самым распространенным и важным процессом является измельчение, обусловленное требованиями физиологии кормления животных. Дело в том, что питательные вещества, присутствующие в кормах, организмом животного усваивается только в растворенном виде, а скорость обработки частиц корма желудочным соком прямо пропорциональна площади их поверхности. В результате измельчения корма образуется множество частиц с высокоразвитой поверхностью, что способствует ускорению процессов пищеварения и повышению усвояемости питательных веществ [8].

Энергоёмкость технологического процесса зависит от конструктивно-режимных параметров измельчения, способов измельчения, массообменных соотношений и других факторов. Поэтому поиск резервов снижения энергоёмкости требует анализа закономерностей протекания процесса с учетом этих факторов.

Цель исследования – повышение качества измельчения и снижение энергоёмкости процесса измельчения кормов, за счет разработки и обоснования конструктивно-технологической схемы измельчителя.

Задачи исследования – разработать и обосновать конструктивно-технологическую схему устройства, определить рациональные конструктивно-режимные параметры.

На основании анализа и классификации измельчителей кормов (рис. 1) [9], а так же согласно требованиям, предъявляемым ко всем измельчающим машинам [1], а именно: качественное измельчение, быстрое удаление измельченного продукта из рабочей зоны машины, возможность регулирования степени измельчения, легкая замена быстроизнашивающихся деталей машины, низкая энергоёмкость и высокая производительность, на кафедре «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства» разработана конструктивно-технологическая схема измельчителя кормов (рис. 2) [7].

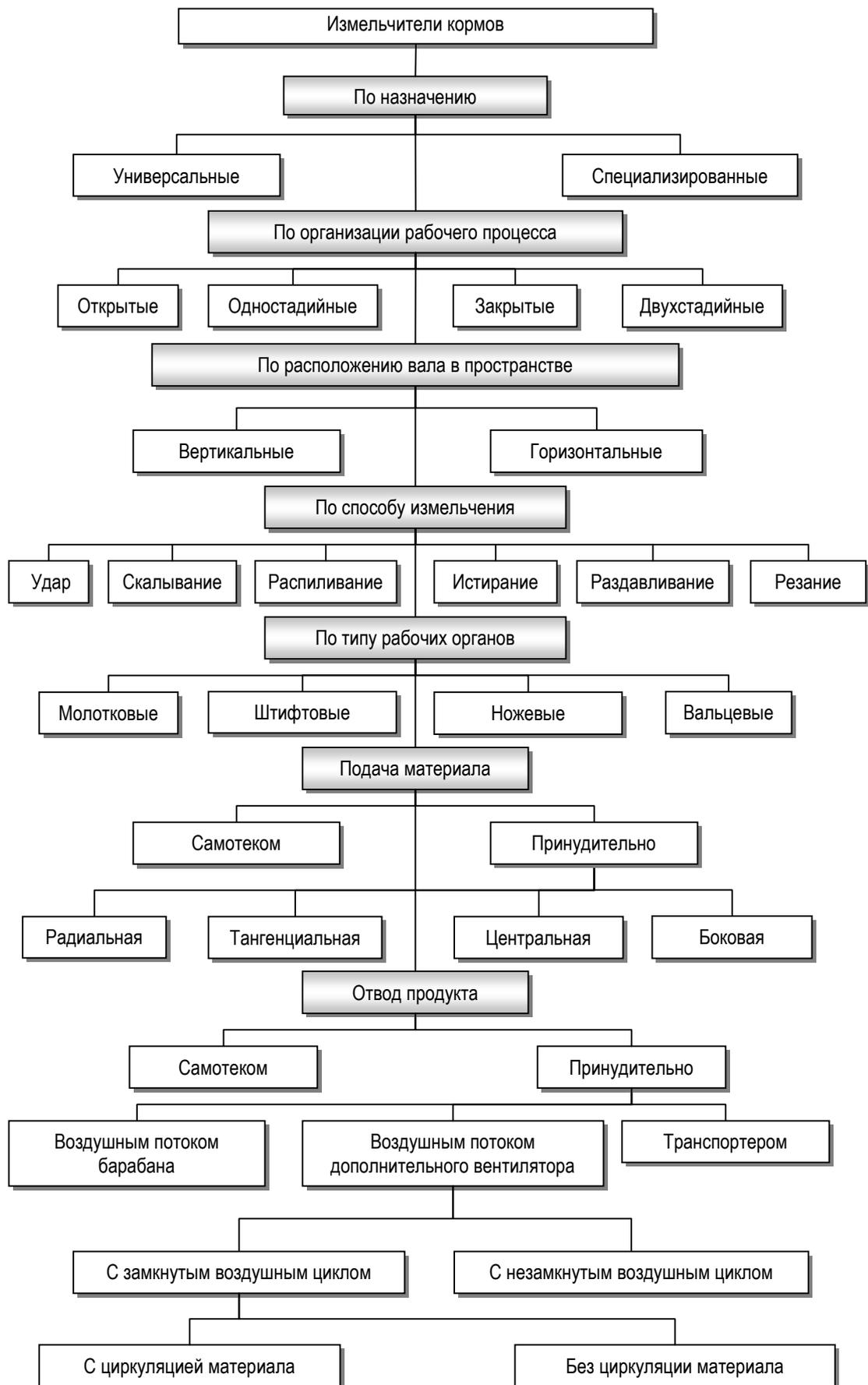


Рис. 1. Классификация измельчителей кормов

Измельчитель содержит полый корпус 1 с загрузочной воронкой 3, подающий шнек 2, установленный в полости корпуса, выгрузное окно 5, перекрываемое сепарирующей пластиной 6, со сквозными отверстиями 10, в зависимости от перерабатываемого продукта. Сменный измельчающий орган 7, выполнен в виде ножа, закреплённого на хвостовике вала 8, установленного соосно внутри подающего шнека 2, с возможностью совместного, за счет двухступенчатого вертикального редуктора 4, или независимого вращения относительно подающего шнека 2. На передней части геликоида подающего шнека 2, установлены в шахматном порядке лезвия 9.

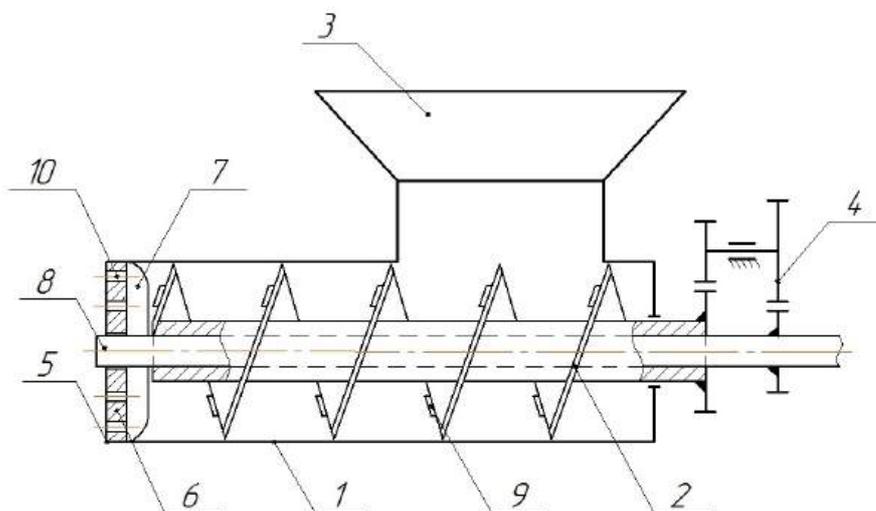


Рис. 2. Конструктивно-технологическая схема измельчителя кормов:
1 – корпус; 2 – шнек; 3 – загрузочная воронка; 4 – редуктор; 5 – выгрузное окно; 6 – сепарирующая пластина; 7 – нож; 8 – вал;
9 – лезвия; 10 – выгрузные отверстия

Продукт, загруженный в воронку 3, поступает в корпус измельчителя 1, далее подается шнеком 2 вперед, приближаясь к выгрузному окну 5, под действием вращающихся ножей 7 на конце вала 8, происходит измельчение материала и дальнейший выход его через сквозные отверстия 10 сепарирующей пластины 6 наружу.

Для аналитического описания процесса измельчения зерна А. П. Макаров использует рациональную формулу В. П. Горячкина, предназначенную для анализа работы плугов и резцов. Разница в сущности протекания процессов дробления и резания очевидна. Но А. П. Макаров [6] принимает к анализу сходную структуру энергозатрат и идентичный порядок определения слагаемых:

$$A = A_{\text{хх}} + A_{\text{пр}} + A_{\text{у}}, \quad (1)$$

где А – общая работа машины;

$A_{\text{хх}}$ – энергия, затрачиваемая на «холостой ход рабочих органов, то есть энергия, затрачиваемая на преодоление вредных сопротивлений»;

$A_{\text{пр}}$ – энергия, затрачиваемая на рабочий процесс измельчения материала;

$A_{\text{у}}$ – энергия, затрачиваемая на отбрасывание материала со скоростью u .

В. Р. Алешкин в своих исследованиях широко изучает кинетику процесса измельчения. При этом кратность циркуляции продуктово-воздушного слоя в дробильной камере рассматривается во взаимосвязи с процессами «размножения», «испытания на проход» и «гибели» частиц. То есть, оценивается степень измельчения продукта во времени:

$$G = G_0 \exp[\alpha \ln(t + 1) - \mu t] \quad (2)$$

$$\alpha = \ln \lambda / \ln(t + 1),$$

где G – текущее значение числа кусков во времени, шт.;

G_0 – число кусков в дробильной камере в начале процесса при $t = 0$, шт.;

α – параметр процесса измельчения;

μ – параметр процесса просеивания;

λ – степень измельчения;

t – время, с.

Если связывать снижение энергоемкости процесса с минимизацией циркулирующей массы и степенью воздействия рабочих органов на циркуляционный слой продукта, то при этом происходит снижение интенсивности дробления частиц. Снижение интенсивности дробления частиц должно быть компенсировано

снижением интенсивности их отвода из дробильной камеры, чтобы сохранить требуемый уровень степени измельчения продукта.

От конструктивно-режимных параметров измельчителя зависят величина циркулирующей массы, режимы циркуляции и интенсивность отвода измельченного продукта из дробильной камеры и определяют результативные показатели технологического процесса.

На основании анализа схемы измельчителя можно сказать, что основными оценочными критериями работы измельчителя являются (рис. 3): $y_1, y_2, y_3, y_4 \dots y_i$ – производительность устройства, потребляемая мощность привода и энергоёмкость измельчения, а также качество корма полученного в результате измельчения.

Основными внешними воздействиями (входными факторами), оказывающими влияние на работу измельчителя, являются обобщённые статистические показатели $f_1, f_2 \dots f_i$, характеризующие гранулометрический состав корма и их физико-механические свойства [2, 4, 5].

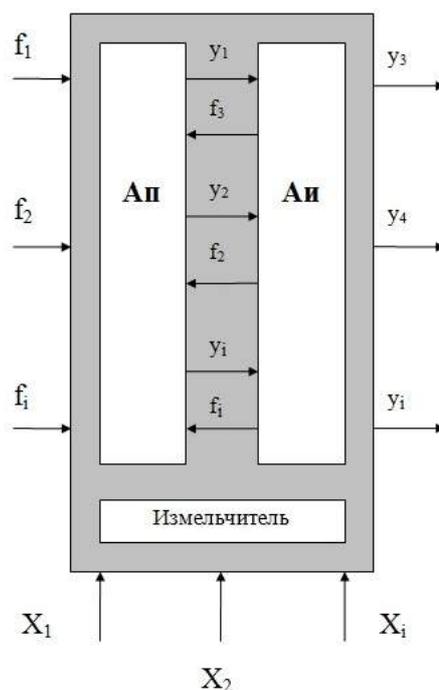


Рис. 3. Структурная схема функционирования измельчителя:

Ап – устройство для подачи продукта; *Аи* – устройство для измельчения продукта; $f_1, f_2, f_3 \dots f_i$ – обобщенные статистические показатели, характеризующие гранулометрический состав кормов, поступающих на измельчение, их физико-механические свойства, а так же параметры обратной связи с измельчающим органом; $X_1, X_2 \dots X_i$ – обобщённые значения внутренних факторов; $y_1, y_2, y_3, y_4 \dots y_i$ – обобщённые значения результирующих факторов: производительности устройств, качество измельчения, мощности привода, энергоёмкости процесса

Обобщённые показатели, характеризующие материалоемкость и надёжность $Y_{мн}$ измельчителя, в структурную схему (рис. 3) условно не введены.

На значения оценочных критериев оказывают влияние внутренние факторы, обусловленные внутренней структурой и конструктивно-режимными параметрами измельчителя. При этом, основной задачей является определение оптимальных, либо рациональных значений обобщённых параметров устройства X_n, X_u с целью доведения показателя $y_3, y_4 \dots y_i$ до рационального (а при невозможности – до оптимального) уровня (для энергоёмкости – минимум, для производительности – максимум), при соблюдении зоотехнических требований, и соответствии уровня показателей $y_1, y_2, \dots y_i$ для обеспечения оптимума показателя $y_3, y_4 \dots y_i$ [1, 5].

В связи с этим, требуется определение рациональных значений технологических и конструктивных параметров измельчителя, обеспечивающих качество получаемой продукции, достаточно высокой производительности и по возможности минимальной энергоёмкости.

Таким образом, оценочными критериями работы измельчителя является ряд факторов: *количественные* – производительность устройства; *энергетические* – мощность привода и энергоёмкость измельчения; *качественные* – модуль помола и степень измельчения зерна. *Основными факторами оптимизации процесса* будут как количественные показатели, так и энергетические – энергоёмкость.

Разработанная структурная схема (рис. 4) позволяет определить последовательность проведения исследовательских работ и их необходимый объём.

Теоретический анализ показателей работы измельчителя позволяет получить на основе аналитических выражений и схемы последовательности выполнения расчётов (рис. 5) математическую модель, а экспериментально полученная техническая характеристика измельчителя – определить рациональные его параметры.

Аналитические исследования измельчителя предусматривают определение его производительности и потребной мощности привода, энергоёмкости измельчения в зависимости от физико-механических свойств корма, конструктивно-режимных параметров.

Экспериментальная проверка теоретических расчётных данных позволяет при наличии их сходимости с опытными значениями расширить применение получаемых расчётным путём данных для обоснования интервалов и их уровней варьирования при экспериментальном изучении процессов и отыскании рациональных значений, сократив количество проводимых опытов.

Для качественных показателей, которые не удалось определить на основе теоретического анализа, находились статистические зависимости, получаемые эмпирическим путём. Сочетание полученных аналитических и статистических выражений в компьютерных программах дает возможность теоретического описания технологических процессов, обоснования и создания их математических моделей [3].

В результате обзорного анализа литературных источников и априорного определения перечня показателей, влияющих на конкретный технологический процесс, был определен список, интервалы и уровни варьирования независимых факторов, а также перечень критериев оценки работы устройства. Проведение поисковых опытов позволяет сравнить сходимость теоретических и опытных данных и уточнить аналитическое описание процесса и полученные математические модели, определиться окончательно с зоной проведения экспериментальных исследований.

Структура экспериментальных исследований соответствует общей функциональной схеме технологического процесса измельчения и представляет собой комбинацию и сочетание проведения факторного анализа и теории многофакторного планирования.

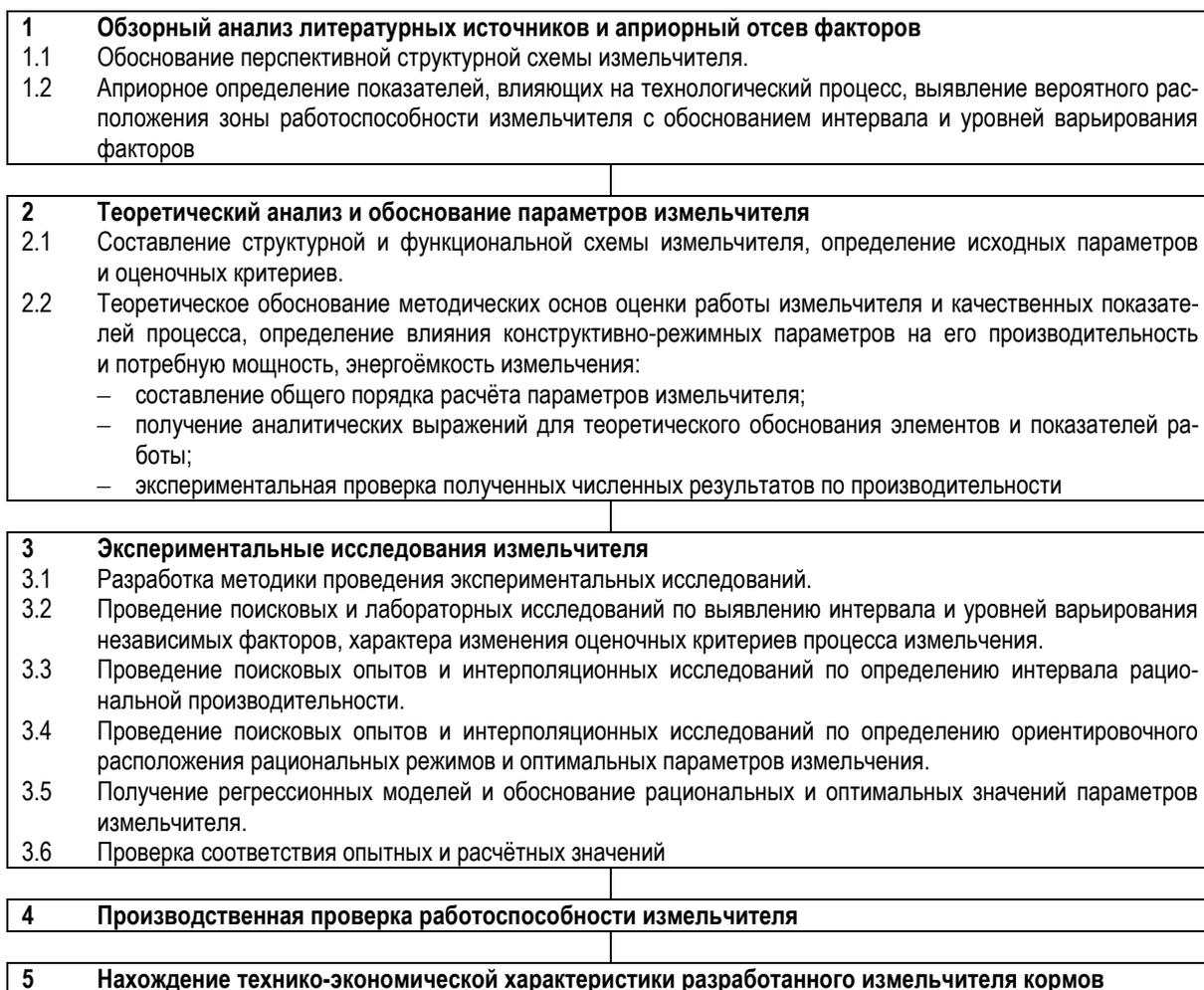


Рис. 4. Структурная схема проведения исследований



Рис. 5. Структурная схема последовательности расчетов

После подтверждения соблюдения технологических требований при измельчении определяется техническая характеристика измельчителя кормов, а также производственная проверка его работоспособности. Полученные показатели работы используемой машины применяются для выявления её технико-экономической характеристики.

Разработанная конструктивно-технологическая схема устройства и ее обоснование, порядок исследований, факторы, влияющие на процесс измельчения, а так же критерии оптимизации, зависящие от этих факторов, позволят определить рациональные значения технологических и конструктивных параметров измельчителя, обеспечивающих качество получаемой продукции, с высокой производительностью и по возможности минимальной энергоёмкостью.

Библиографический список

1. Буклагина, Г. В. Стратегия машинно-технологического обеспечения производства сельскохозяйственной продукции России на период до 2010 года // Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. – М. : Государственное научное учреждение Центральная научная сельскохозяйственная библиотека, Российской академии сельскохозяйственных наук, 2005. – №2. – 49 с.
2. Зиганшин, Б. Г. Проблемы измельчения концентрированных кормов // Устойчивому развитию АПК – научное обеспечение : тр. Всероссийской научно-практической конференции. – Ижевск, 2004. – С. 374-377.
3. Резник, Е. И. Совершенствование технологических процессов и технических средств заготовки, приготовления и раздачи кормов на фермах крупного рогатого скота : дис. д-ра техн. наук : 05.20.01 / Резник Евгений Иванович. – М., 2003. – 435 с.
4. Сабиев, У. К. Комбикормовый агрегат / У. К. Сабиев, А. Н. Яцунов, И. У. Сабиев // Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2011 : сб. науч. тр. – Одесса : Черноморье, 2011. – Т. 2. – С. 63-65.
5. Стремнин, В. А. Региональное машиностроение и система машин для животноводства / В. А. Стремнин, В. К. Скоркин // Научно-технические проблемы механизации и автоматизации животноводства : сб. науч. тр. ВНИИМЖ. – Подольск, 1998. – Т. 7, ч. 2. – С. 9-25.
6. Якименко, А. В. Приготовление кормосмесей в условиях малых фермерских хозяйств / А. В. Якименко, А. В. Вараксин // Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве : сб. науч. тр. ДальГАУ. – Благовещенск, 2005. – №11. – 305 с.

7. Пат. 118835 Российская федерация МПК⁷ A01F 29/00 (2006.01) B02C 18/26 (2006.01). Универсальный шнеково-ножевой измельчитель кормов / Новиков В. В., Зотеев В. С., Успенская И. В. [и др.] ; патентообладатель Самарская ГСХА. – №2012109184/15 ; заявл. 11.03.12 ; опубл. 10.08.12, Бюл. № 22. – 7 с.

8. Балданов, М. Б. Обоснование параметров малогабаритного молоткового измельчителя фуражного зерна : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Балданов Мунко Базарович. – Новосибирск, 2008. – 170 с.

9. Комлик, И. П. Классификация измельчителей кормов / И. П. Комлик, Ю. В. Абрамов, В. В. Новиков // Вклад молодых ученых в аграрную науку Самарской области : сб. науч. тр. – Самара : РИЦ СГСХА, 2012. – 369 с.

УДК 658.382

ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ И ПУТИ ЕЕ СНИЖЕНИЯ

Шкрабак Владимир Степанович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Безопасность технологических процессов и производств» ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет».

196601, Санкт-Петербург – Пушкин, Петербургское шоссе д. 2.

Тел.: 8(812) 451-76-18.

Григоров Петр Павлович, зав. кафедрой «Организация перевозок и технический сервис» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия», Институт управленческих технологий и аграрного рынка.

443056, Самара, проспект Масленникова, д. 37.

Тел.: 8(846) 334-11-55.

Шкрабак Роман Владимирович, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Безопасность технологических процессов и производств» ФГБОУ «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», член-корреспондент МАНЭБ.

196601, Санкт-Петербург – Пушкин, Петербургское шоссе, д. 2.

Тел.: 8 (812) 451-76-18.

Брагинец Юрий Николаевич, канд. с.-х. наук, докторант кафедры «Безопасность технологических процессов и производств» ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет».

196601, Санкт-Петербург – Пушкин, Петербургское шоссе д. 2.

Тел.: 8(812) 451-76-18.

Соловьева Вера Павловна, аспирант кафедры «Безопасность технологических процессов и производств» ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет».

196601, Санкт-Петербург – Пушкин, Петербургское шоссе д. 2.

Тел.: 8(812) 451-76-18.

Ключевые слова: характеристика, транспорт, безопасность, снижение, пути.

В статье приведены результаты исследований проблем безопасности на автомобильном транспорте и пути ее решения. Уделено внимание количественным показателям проблемы по транспорту и дорогам различного назначения, плотности транспортных потоков на различных дорогах и травматизму в дорожно-транспортных происшествиях. Обозначены пути решения проблемы комплексом трудоохранных мероприятий.

Обеспечение безопасности на рабочих местах во всех видах экономической деятельности – Конституционная обязанность руководителей всех уровней и исполнителей работ. Право работающих на это закреплено многими Международными документами, включая Всеобщую декларацию прав человека [1], гарантирующую каждому человеку право на жизнь, свободный выбор работы, труд, защиту от безработицы, достойные и благоприятные условия труда. Ныне право на здоровые и безопасные условия труда в соответствии с Сеульской декларацией от июня 2008 г. признано Всемирным конгрессом и саммитом по охране труда одним из фундаментальных прав человека. Это значит, что глобализация экономики должна осуществляться интегрировано со стратегией и тактикой динамичного снижения и ликвидации производственного травматизма и профессиональных заболеваний [2-4]. Руководство нашей страны считает основной ценностью жизнь человека, его достоинство и благосостояние, недопустимость экономии на здоровье работников, технике их безопасности и защите от воздействия вредных производственных факторов. Государственная политика страны в рассматриваемой области базируется на обеспечении в процессе трудовой деятельности приоритета сохранения жизни и здоровья работников. В настоящее время состояние безопасности на автомобильном транспорте таково, что практически ежедневно на дорогах страны в результате дорожно-транспортных происшествий погибает 90-93 человека и около 800 человек тяжело травмируется. Общее число таких происшествий ежегодно составляет около 200 тыс. человек.

Одним из определяющих путей решения проблемы на современном уровне – ориентация на инновационную экономику. Применительно к безопасности на автомобильном транспорте речь идёт о новых

научных разработках организационно-технического, кадрового и инженерно-технического характера, а также стратегии и тактике динамичного снижения и ликвидации дорожно-транспортных происшествий [2-5].

Как известно, в перечисленных выше работах [2-4], а также результатах исследований последних лет [5-10] этой проблеме уделено особое внимание в плане указанного выше приоритета. Поэтому характеристика проблемы безопасности на автомобильном транспорте и пути ее снижения – актуальная проблема современности.

Цель исследований – обеспечение безопасности на автомобильном транспорте для снижения аварий и дорожно-транспортных происшествий.

Задача исследований – изучить состояние проблем безопасности на автомобильном транспорте и наметить пути ее снижения; изучить динамику числа автомобильного транспорта и коэффициент использования парка; изучить динамику протяженности автомобильных дорог; изучить динамику плотности транспортного потока для дорог разного назначения, динамику ДТП и удельного числа пострадавших в них. Объектом исследований являлся автомобильный транспорт и аспекты его безопасности.

Для конкретизации проблемы рассмотрим ее применительно к предприятиям Самары и области. Материально-техническая база автомобильного транспорта характеризуется данными о наличии машин в различных организациях и собственности граждан, включая грузовые, легковые машины, пикапы и легковые фургоны. Динамика этих сведений представлена в таблице 1.

Таблица 1

Динамика автомобильного транспорта и коэффициента использования парка за 2001-2011 гг.
в Самаре и области

| Вид автомобильного транспорта | Годы | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Грузовой (включая пикапы и грузовые фургоны), всего | 96729 | 98194 | 101411 | 104617 | 104928 | 105918 | 106758 | 110554 | 106153 | 106315 | 112705 |
| в том числе: | | | | | | | | | | | |
| - транспорт общего пользования; | 4133 | 3813 | 2476 | 1774 | 1154 | 1717 | 1686 | 1215 | 1243 | 1506 | 1328 |
| - в собственности граждан | 39158 | 40469 | 44223 | 45696 | 45817 | 48645 | 54838 | 57334 | 53174 | 53791 | 61372 |
| Пассажирский – автобусы (всего) | 18381 | 18648 | 20137 | 20338 | 21692 | 23453 | 25634 | 25717 | 25738 | 23756 | 21650 |
| в том числе: | | | | | | | | | | | |
| - автобусы общего пользования; | 3859 | 3680 | 2805 | 2558 | 2258 | 1955 | 1531 | 1112 | 1090 | 984 | 987 |
| - в собственности граждан; | 6312 | 6395 | 7720 | 8181 | 9624 | 11730 | 13342 | 13218 | 12849 | 12014 | 11988 |
| Автомобили легковые (всего) | 572884 | 614019 | 624125 | 660093 | 691630 | 696313 | 748598 | 791850 | 802789 | 812737 | 859434 |
| - в том числе в собственности граждан | 538240 | 581780 | 589696 | 621816 | 647083 | 652284 | 699236 | 742324 | 750747 | 759730 | 819005 |
| Коэффициент использования парка, % | 63,0 | 64,1 | 63,7 | 63,5 | 62,5 | 62,7 | 66,7 | 66,8 | 72,0 | 69,6 | 80,4 |

Анализ данных таблицы 1 показывает, что имеет место ежегодный рост суммарного числа грузового транспорта на 1,025%. Для транспорта общего пользования характерно ежегодное осреднённое снижение на 0,84%; в собственности граждан имеет место ежегодный осредненный рост на 0,95%. Для пассажирского транспорта характерна следующая динамика. Общее его количество ежегодно возрастает в среднем на 1,02%; для автобусов общего пользования характерно ежегодное осреднённое сокращение на 0,87%. Число же автобусов в собственности граждан имеет осреднённый ежегодный рост на 1,08%.

Характерен рост числа легковых автомобилей – ежегодный осреднённый рост 1,05% в год. Осреднённый рост легковых автомобилей в собственности граждан ежегодно составляет также 1,05% (по отношению к предыдущему году).

Представляет также интерес протяженность путей сообщения. Эти сведения представлены в таблице 2 в динамике за те же 2001-2011 гг.

Таблица 2

Динамика протяженности автомобильных дорог за 2001-2011 гг.

| Дороги | Годы | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Автомобильные всего, км | 11588 | 11604 | 11495 | 11125 | 11057 | 10631 | 18354 | 19103 | 17450 | 17071 | 17605 |
| в том числе: | | | | | | | | | | | |
| - общего пользования, включая местные | 8352 | 8378 | 8414 | 8456 | 8475 | 8351 | 16610 | 17429 | 15722 | 15115 | 15579 |
| - ведомственные | 3236 | 3226 | 3081 | 2669 | 2582 | 2280 | 1744 | 1674 | 1728 | 1656 | 2026 |
| Из общей протяженности автомобильных дорог – дороги с твердым покрытием – всего | 10333 | 10383 | 10427 | 10106 | 10051 | 10240 | 15083 | 15453 | 14154 | 14040 | 14459 |
| в том числе общего пользования, | 7455 | 7518 | 7567 | 7617 | 7649 | 8118 | 13452 | 13923 | 12569 | 12499 | 12578 |
| из них: | | | | | | | | | | | |
| - федерального значения | 677 | 672 | 672 | 672 | 672 | 672 | 672 | 672 | 672 | 672 | 672 |
| - регионального или муниципального значения | 6778 | 6846 | 6895 | 6945 | 6977 | 6942 | 6986 | 7013 | 7047 | 7047 | 7062 |
| - ведомственные | 2878 | 2865 | 2860 | 2489 | 2402 | 2122 | 1631 | 1530 | 1575 | 1511 | 1881 |

Как видно из анализа данных таблицы 2, протяженность автомобильных дорог общая, в том числе общего пользования (включая местные), ведомственные, дороги с твердым покрытием, федерального или регионального (или муниципального) значения за период с 2001 по 2006 г. включительно, меняется незначительно (в пределах 0,2-0,3%). В 2006 г. дороги местного значения приняты на баланс муниципальных образований. Динамика их протяженности в период с 2007 по 2011 г. включительно практически менялась незначительно (в пределах 1%) для всех типов дороги (за исключением ведомственных, где имела место стабильная ситуация их сокращения почти на 1000 км за период с 2001 по 2011 г.).

Касаясь безопасности движения и числа дорожно-транспортных происшествий, отметим, что на указанные обстоятельства определенное влияние оказывает и плотность транспортного потока. Данные таблиц 1 и 2 позволяют определить этот показатель.

Результаты исследований по определению плотности транспортных потоков для названных выше типов автомобилей и протяженности дорог приведены в таблице 3.

Таблица 3

Динамика плотности транспортного потока для автомобилей и дорог различного назначения за 2001-2011 гг.

| Виды автомобилей и дорог | Годы и плотности транспортных потоков (число автомобилей, приходящихся на 1 км дороги) | | | | | | | | | | |
|--|---|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|------|
| | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Для грузового транспорта (отношение общего количества его к общей протяженности дорог) | 8,4 | 8,46 | 8,82 | 9,4 | 9,5 | 9,96 | 5,82 | 5,79 | 6,08 | 6,23 | 6,4 |
| Для транспорта общего пользования на дорогах общего пользования, включая: | | | | | | | | | | | |
| - местные | 0,49 | 0,455 | 0,3 | 0,21 | 0,14 | 0,20 | 0,10 | 0,07 | 0,08 | 0,1 | 0,08 |
| - ведомственные | 30,0 | 30,4 | 32,9 | 39,2 | 40,6 | 46,5 | 61,0 | 66,0 | 61,0 | 64,2 | 55,6 |
| Для транспорта в собственности граждан | | | | | | | | | | | |
| - на дорогах всего: | 3,4 | 3,5 | 3,85 | 4,1 | 4,14 | 4,56 | 3,0 | 3,0 | 3,28 | 3,15 | 3,48 |
| - на дорогах общего пользования, включая: | | | | | | | | | | | |
| - местные | 4,7 | 4,83 | 5,26 | 5,4 | 5,4 | 5,82 | 3,3 | 3,2 | 3,4 | 3,5 | 4,0 |
| - ведомственные | 12,0 | 12,54 | 14,35 | 14,83 | 17,74 | 21,3 | 20,43 | 34,2 | 30,8 | 32,5 | 30,3 |
| Для пассажирского транспорта – автобусы (всего) | 1,6 | 1,6 | 1,75 | 1,83 | 1,96 | 2,2 | 1,4 | 1,35 | 1,5 | 1,4 | 1,23 |
| на автомобильных дорогах всего: | 0,33 | 0,32 | 0,24 | 0,23 | 0,2 | 0,18 | 0,08 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 |
| в том числе: | | | | | | | | | | | |
| - автобусы общего пользования | 0,54 | 0,55 | 0,67 | 0,74 | 0,87 | 1,1 | 0,73 | 0,7 | 0,74 | 0,7 | 0,68 |
| - в собственности граждан | 2,22 | 2,22 | 2,4 | 2,4 | 2,56 | 3,07 | 1,54 | 1,48 | 1,63 | 1,54 | 1,4 |
| Тоже на дорогах общего пользования, включая: | | | | | | | | | | | |
| - местные (для автобусов) | 5,68 | 5,78 | 6,53 | 7,62 | 8,4 | 10,2 | 14,7 | 15,4 | 14,9 | 14,31 | 10,7 |
| Автомобили легковые (всего) – на автомобильных дорогах, | 49 | 52,9 | 54,3 | 59,3 | 62,5 | 65,5 | 40,8 | 41,45 | 46 | 47,6 | 48,8 |
| в том числе: | | | | | | | | | | | |
| - общего пользования, включая местные | 68,6 | 73,3 | 71,2 | 78 | 81,6 | 83,4 | 45 | 44 | 51 | 52,7 | 55,2 |
| - ведомственные | 177 | 190 | 202 | 247 | 268 | 305 | 429 | 473 | 464 | 490 | 424 |

Анализ данных таблицы 3 показывает, что плотность транспортного потока в различных проанализированных ситуациях различна. Отметим, что плотность потока существенно влияет на скорость движения, дистанцию между транспортными средствами, нервно-психологическое состояние водителей и вынуждает водителей в ряде случаев нарушать Правила безопасности дорожного движения. Это одно из обстоятельств (причем существенное), приводящее к дорожно-транспортным происшествиям и вносящее свою долю в число ежедневных летальных травм на дорогах страны (ежесуточно погибает около 90 человек и тяжело травмируется около 800).

Как видно из таблицы 3, плотность транспортного потока различна. С точки зрения безопасности для нас представляют непосредственный интерес ситуации с максимальной плотностью потока. Как видно, она достигается на ведомственных дорогах, хотя и бывает это редко (трудно представить ситуацию, когда весь транспорт общественный, грузовой и легковой в одно время будут пользоваться ведомственной дорогой). Однако такие ситуации часто бывают и не на ведомственных дорогах, а на обычных (к примеру – «пробки»). Этим обстоятельствам должно быть уделено особое внимание (в отдельной работе).

Сейчас остановимся на количественной оценке этих и других ситуаций, которые приводят к дорожно-транспортным происшествиям.

Фактические данные по проблеме представлены в таблице 4.

Изложенная динамика происшествий, погибающих и раненых в них людей, далека от желаемой.

Динамика дорожно-транспортных происшествий и удельного числа пострадавших в них в Самарской области за 2001-2011 гг. (в расчете на 100 тыс. населения)

| Параметр | Годы | | | | | | | | | | |
|----------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Число происшествий | 113 | 112,6 | 113,1 | 112,9 | 139,4 | 162,6 | 161,1 | 145,2 | 136,1 | 132,7 | 131 |
| Число погибших в них | 22,4 | 22,6 | 22,6 | 22,5 | 23,2 | 22,1 | 182 | 18,2 | 18,0 | 16,5 | 15,3 |
| Число раненых в них | 125 | 126,3 | 126,8 | 126,9 | 161,2 | 198,6 | 203,2 | 180,8 | 171,6 | 169,9 | 169 |

Поэтому необходим комплекс профилактических мероприятий по ее улучшению. Анализ работ [2-10] показывает, что такая возможность динамичного снижения и ликвидации дорожно-транспортных происшествий, гибели и ранения в них людей имеется. В комплексе их особого внимания заслуживают вопросы так называемого дорожного обеспечения безопасности. Интенсивный рост автомобильного парка существенно превышает пропускную способность ряда дорог, особенно в населенных пунктах. Поэтому развитию дорожного строительства в ближайшее время необходимо уделить самое пристальное внимание.

Кроме того, учитывая определяющую роль личности в обеспечении транспортной безопасности, необходимо совершенствовать методы и средства подготовки водителей и обеспечения безопасности и безвредности при выполнении транспортных работ. Речь идет о профессиональной ориентации и профессиональном отборе кадров. Практика показывает, что самое пристальное внимание должно быть уделено инженерно-техническому обеспечению безопасности как автотракторных поездов, так и транспортных средств в целом. Речь идет о средствах предотвращения засыпания за рулем, об оперативном восстановлении работоспособности, определения профессиональной пригодности, противоопокидывающих устройствах, устройствах против запуска на скорости, устройствах, предотвращающих придавливание кузовами самосвалов и прицепов, безопасной сцепке-расцепке машин и др. [3-5].

Приведенный в статье материал позволяет уяснить вопросы взаимосвязи и взаимовлияния параметров транспортной безопасности и служит основой для теоретического обоснования ряда вопросов проблемы и в первую очередь плотности транспортных потоков на дорогах федеральных, муниципальных и ведомственных, а также его влияние на динамику дорожно-транспортных происшествий.

Библиографический список

1. ООН. Всеобщая декларация прав человека : принята на третьей сессии Генеральной Ассамблеи ООН резолюцией 217 А (III) 10 декабря 1948 г. // Российская газета. – 1998. – 10 дек.
2. Шкрабак, В. С. Пути дальнейшего совершенствования стратегии и тактики снижения и ликвидации производственного травматизма в АПК / В. С. Шкрабак, В. В. Шкрабак, Р. В. Шкрабак // Международные проблемы экологической безопасности : сб. тр. Международной научно-практической конференции / СНАУ ; МАНЭБ. – СПб., 2002. – Т. 2. – С. 48-50.
3. Шкрабак, В. В. Стратегия и тактика динамичного снижения и ликвидации производственного травматизма в АПК (теория и практика) : монография. – СПб. : СПбГАУ, 2007. – 580 с.
4. Шкрабак, В. С. Библиографический указатель трудов. – СПб., 2012. – 315 с.
5. Шкрабак, В. С. Теория и практика обеспечения безопасности дорожного движения в АПК : монография / В. С. Шкрабак, Е. Н. Христофоров, Н. Е. Сакович. – Брянск : Изд-во Брянской ГСХА, 2008. – 285 с.
6. Шкрабак, В. С. Методологические аспекты теоретического обоснования безопасности транспортных работ и технические средства ее реализации / В. С. Шкрабак, Е. Н. Христофоров, Р. В. Шкрабак // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2009. – №3. – С. 55-64.
7. Шкрабак, В. С. Теоретический анализ обеспечения безопасности транспортных работ в АПК / В. С. Шкрабак, Е. Н. Христофоров, Р. В. Шкрабак // Тракторы и сельхозмашины. – 2009. – №5. – С. 46-48.
8. Шкрабак, В. С. Обеспечение безопасности перевозок в агропромышленном комплексе / В. С. Шкрабак, Ю. Н. Баранов, А. Н. Загородних // Вестник ОрелГАУ. – 2011. – №2 (24). – С. 129-131.
9. Христофоров, Е. Н. Безопасность транспортных работ в АПК // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007. – №6. – С. 55-56.
10. Горбунов, А. А. Транспортная безопасность объектов транспортной инфраструктуры автомобильного транспорта / А. А. Горбунов, П. П. Григоров. – Самара : ООО «Книга», 2013. – 152 с.

Содержание

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА

| | |
|---|----|
| <i>Крючин Н.П., Андреев А.Н.</i> Разработка и обоснование параметров горизонтального распределителя семян для пневматического высева..... | 3 |
| <i>Гниломёдов В.Г., Сазонов Д.С., Ерзамаев М.П.</i> Обоснование тягового сопротивления комбинированного плуга для ярусной обработки почвы..... | 8 |
| <i>Артамонов Е.И., Галенко И.Ю.</i> Результаты стендовых исследований устройства точного высева амаранта метельчатого при посеве на липкую ленту..... | 13 |
| <i>Фролов Д.И. (ФГБОУ ВПО Пензенская ГСХА), Курочкин А.А. (ФГБОУ ВПО Пензенская ГСХА), Шабурова Г.В. (ФГБОУ ВПО Пензенская ГСХА)</i> Обоснование оптимальной частоты вращения рабочего органа ботвоудаляющей машины..... | 18 |
| <i>Косолапов В.В. (ГБОУ ВПО Нижегородский ГИЭИ)</i> Экспериментальные исследования влияния геометрических параметров прикатывающего бороздообразующего колеса на равномерность глубины заделки посевного материала..... | 23 |
| <i>Миронов В.М. (ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА), Миронов Д.В. (ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА), Мазанко В.Ф. (НАН Украины «Институт металлофизики им. Г.В. Курдюмова»), Герцрикен Д.С. (НАН Украины «Институт металлофизики им. Г.В. Курдюмова»), Лопата Л.А. (Национальный авиационный университет), Бевз В.П. (НАН Украины «Институт металлофизики им. Г.В. Курдюмова»)</i> Влияние эффекта Трицкого на диффузионные процессы в деформируемых металлах при электроконтактном припекании..... | 27 |
| <i>Милюткин В.А., Канаев М.А., Кузнецов М.А.</i> Система механизации мониторинга и управления плодородием почвы в режиме on-line..... | 34 |

ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

| | |
|--|----|
| <i>Володько О.С., Ленивцев А.Г.</i> Методологические основы исследований надежности и работоспособности технических систем..... | 40 |
| <i>Ленивцев Г.А., Бажутов Д.Н.</i> Аналитическая оценка влияния размерных параметров центрифуги на степень очистки масел..... | 44 |
| <i>Сидоров Е.А. (ФГБОУ ВПО Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина), Уханов А.П. (ФГБОУ ВПО Пензенская ГСХА), Зеленина О.Н. (ГНУ Пензенский НИИСХ)</i> Оценка жирнокислотного состава растительных масел и дизельных смесевых топлив на основе рыжика, сурепицы и льна масличного..... | 49 |
| <i>Быченин А.П., Быченина М.А.</i> Влияние смесевых минерально-растительных топлив на ресурс прецизионных пар топливopодaющей аппаратуры дизельных двигателей..... | 54 |
| <i>Кубейсинов М.К. (Западно-Казахстанский АТУ им. Жангир хана)</i> О возможности формализации методов предотвращения холодных трещин при сварке высокопрочных низколегированных сталей..... | 59 |

МАШИНОИСПОЛЬЗОВАНИЕ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ АПК

| | |
|---|----|
| <i>Фролов Н.В., Мосина Н.Н.</i> Изготовление винта шнека с заданными параметрами..... | 64 |
| <i>Грецов А.С. (ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА), Мишанин А.П. (ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА), Янзина Е.В. (ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА), Курочкин А.А. (ФГБОУ ВПО Пензенская ГСХА)</i> Влияние геометрических и динамических факторов на процесс дегидратации протеиносодержащих субстратов..... | 68 |
| <i>Коновалов В.В. (ФГБОУ ВПО Пензенская ГСХА), Новиков В.В. (ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА), Азиаткин Д.Н. (ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА), Грецов А.С. (ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА)</i> Моделирование процесса непрерывного приготовления смеси смесителем-дозатором экструдера..... | 72 |
| <i>Григоров П.П. (ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА), Шкрабак Р.В. (ФГБОУ Санкт-Петербургский ГАУ)</i> Транспортная безопасность и пути её повышения..... | 78 |
| <i>Коновалов В.В. (ФГБОУ ВПО Пензенская ГСХА), Терюшков В.П. (ФГБОУ ВПО Пензенская ГСХА), Чупшев А.В. (ФГБОУ ВПО Пензенская ГСХА), Коновалов В.В. (ФГБОУ ВПО Пензенская ГСХА)</i> Оптимизация конструктивно-кинематических параметров смесителя сухих кормов с лопастно-ленточным рабочим органом..... | 83 |
| <i>Шкрабак Р.В. (ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский ГАУ)</i> Теоретический анализ распределения показателя частоты травматизма в АПК и путей его снижения..... | 88 |
| <i>Комлик И.П.</i> Обоснование конструктивно-технологической схемы устройства для измельчения кормов..... | 93 |
| <i>Шкрабак В.С. (ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский ГАУ), Григоров П.П. (ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА), Шкрабак Р.В. (ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский ГАУ), Брагинцев Ю.Н. (ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский ГАУ), Соловьева В.П. (ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский ГАУ)</i> Проблемы безопасности на автомобильном транспорте и пути ее снижения..... | 99 |

Contents

MODERN TECHNOLOGIES AND MEANS OF MECHANIZATION OF PLANT GROWING

| | |
|---|----|
| <i>Kruchin N.P., Andrejev A.N.</i> Development and validation of parameters of horizontal pneumatic sowing grass seed spreader..... | 3 |
| <i>Gnilomedov V.G., Sazonov D.S., Erzamajev M.P.</i> Traction resistance Rationale of combined plough for longline soil treatment..... | 8 |
| <i>Artamonov E.I., Galenko I.Y.</i> The results of bench researches of amaranth's precision seeder when planting on an adhesive tape..... | 13 |
| <i>Frolov D. I. (FSBEI HVE Penza SAA), Kurochkin A. A. (FSBEI HVE Penza SAA), Shaburova G. V. (FSBEI HVE Penza SAA)</i> Substantiation of the haulm removing machine operating element rotation optimum frequency..... | 18 |
| <i>Kosolapov V. V. (SBEI HVE Nizhegorodsk SIER)</i> Experimental study of geometric parameters pressing furrow creating wheel effect on seed cover depth uniformity..... | 23 |
| <i>Mironov V.M. (FSBEI HVE Samara SAA), Mironov D.V. (FSBEI HVE Samara SAA), Mazanko V.F. (Institute of metal physics named after G.V. Kurdyumov FAS Ukrain), Gertsriken D.S. (Institute of metal physics named after G.V. Kurdyumov FAS Ukrain), Lopata L.A. (Nation aviation university), Bezv V.P. (Institute of metal physics named after G.V. Kurdyumov FAS Ukrain)</i> The influence of Troitsky effect on the diffusion processes in deformed metals while electric-contact sintering..... | 27 |
| <i>Milyutkin V.A., Kanajev M.A., Kuznetsov M.A.</i> Monitoring mechanization system and soil fertility control in the on-line mode..... | 34 |

EFFICIENCY AND OPERATIONAL RELIABILITY OF FARM MACHINERY

| | |
|--|----|
| <i>Volod'ko O.S., Lenivtsev A.G.</i> Methodological basis of technical systems reliability and availability research..... | 40 |
| <i>Lenivtsev G.A., Bazhutov D.N.</i> Centrifugal cleaner constructive parameters impact on oils purification rate Rationale..... | 44 |
| <i>Sidorov E.A. (FSBEI HVE Ul'yanovsk SAA named after P.A. Stolypin), Ukhanov A.P. (FSBEI HVE Penza SAA), Zelenina O.N. (SRI "Penzenskiy science-research institute of agriculture" Rosagriacademy)</i> Vegetable oils oily acid composition and diesel mixed fuels assessment based on camelina, coleseed and oilseed flax..... | 49 |
| <i>Byhchenin A.P., Byhchenina M.A.</i> Influence of bio fuels on the resource of precision pairs of diesel fuel equipment... | 54 |
| <i>Kubeisinov M. K. (WKATU)</i> About possibility of formalization methods to prevent cold cracks while high-strength low-alloyed steel welding..... | 59 |

MACHINES IN SPECIALIZED TECHNOLOGIES OF AGRARIAN AND INDUSTRIAL COMPLEX

| | |
|---|----|
| <i>Frolov N. V., Mosina N. N.</i> Making auger with parameters set..... | 64 |
| <i>Gretsov A.S. (FSBEI HVE Samara SAA), Mishanin A.L. (FSBEI HVE Samara SAA), Yanzina E.V. (FSBEI HVE Samara SAA), Kurochkin A. A. (FSBEI HVE Penza STA)</i> Geometrical and dynamic factors impact on protein holding substrata dehydration process. | 68 |
| <i>Konovalov V. V. (FSBEI HVE Penza SAA), Novikov V. V. (FSBEI HVE Samara SAA), Aziatkin D. N. (FSBEI HVE Samara SAA), Gretsov A.S. (FSBEI HVE Samara SAA)</i> Non-stop mix preparation process modelling by the extruder batch mixer | 72 |
| <i>Grigorov P.P. (FSBEI HVE Samara SAA), Shkrabak R.V. (FSBEI St.-Petersburg SAU)</i> Transport safety and its improvement ways..... | 78 |
| <i>Konovalov V.V. (FSBEI HVE Penza SAA), Teryushkov V.P. (FSBEI HVE Penza SAA), Chupshev A.V. (FSBEI HVE Penza SAA), Konovalov V.V. (FSBEI HVE Penza SAA)</i> Blade-tape working body mixer for dry feeds design and kinematic parameters optimization..... | 83 |
| <i>Shkrabak R.V. (FSBEI St.-Petersburg SAU)</i> Injury frequency index theoretical analysis in agriculture and ways to reduce..... | 88 |
| <i>Komlik I.P.</i> Substantiation of the forage crusher design-technological scheme..... | 93 |
| <i>Shkrabak V.S. (FSBEI St.-Petersburg SAU), Grigorov P.P. (FSBEI HVE Samara SAA), Skrabak R.V. (FSBEI St.-Petersburg SAU), Braginets Y.N. (FSBEI St.-Petersburg SAU), Solovjeva V.P. (FSBEI St.-Petersburg SAU)</i> Road transport safety problems featuring and reduction ways..... | 99 |

Key words, abstracts

Kruchin N.P., Andrejev A.N. Development and validation of parameters of horizontal pneumatic sowing grass seed spreader.

Sowing, pneumatic, planter, horizontal, distribution, seeds, uniformity.

The article provides an overview of horizontal pneumatic seed drills, Switchgears, technological process design of seed distribution horizontal distributor of pneumatic seeders.

Gnilomedov V.G., Sazonov D.S., Erzamajev M.P. Traction resistance Rationale of combined plough for longline soil treatment.

Combined, longline, treatment, soil, plow, body, ripper, cultivating, assembly, draft, resistance.

Theoretical justification of the draft resistance combined plow tillage for tier has been performed.

Artamonov E.I., Galenko I.Y. The results of bench researches of amaranth's precision seeder when planting on an adhesive tape.

Amaranth, sowing, device, stand, uniformity.

The results of laboratory studies of seeding device for precision amaranth seeding when planting on an adhesive tape have been provided. The description of the research stand developed design has been presented.

Frolov D.I., Kurochkin A.A., Shaburova G.V. Substantiation of the haulm removing machine operating element rotation optimum frequency.

Haulm removing, machine, cormophyte, mass, haulm, onion.

Theoretical research of the haulm removing operating element working process has been provided. A general work character and substantiation of optimum parameters of the rotational operating element has been studied.

Kosolapov V.V. Experimental study of geometric parameters pressing furrow creating wheel effect on seed cover depth uniformity.

Furrow, depth, quality, wheel, experiment.

This article describes experimental study of pressing furrow creating wheel geometry to ensure the minimum possible vertical displacement and precise seed location providing.

Mironov V.M., Mironov D.V., Mazanko V.F., Gertsriken D.S., Lopata L.A., Bevez V.P. The influence of Troitsky effect on the diffusion processes in deformed metals while electric-contact sintering.

limpuse, current, electro-contact, cracknels, deformation.

It has been found that with realization of Troitsky effect in applying a current pulse to samples of iron, nickel and steel experiencing pulsed or static deformation at room and elevated temperatures in the 40-200 ms the migration of atoms is at the depth of 10 to 50 microns depending on the speed and degree of deformation, temperature, energy deforming the momentum kind of penetrating atom and cavity. Suggested model of Troitsky effect has been based on experimental results.

Milyutkin V.A., Kanajev M.A., Kuznetsov M.A. Monitoring mechanization system and soil fertility control in the on-line mode.

Humus, soil hardness, soil fertility, fertilizer, monitoring, mechanization, rapid, method, application, assembly.

The article presents a system of soil fertility monitoring mechanization while Agricultural Technological unit working capable simultaneously with the main process through the introduction of differentiated mineral fertilizers to control the fertility of the soil in the on-line mode, using the correlation between fertility (humus) and physico-mechanical soil properties (bulk density - density, soil hardness).

Volod'ko O.S., Lenivtsev A.G. Methodological basis of technical systems reliability and availability research.

Reliability, availability, tribological, system, resources, technical, level.

A comparative analysis of state standards 27.002-89 and P 27.002-2009 "Reliability in engineering has been conducted. Basic terms and definitions" and proposed research methodology of technical systems reliability and availability.

Lenivtsev G.A., Bazhutov D.N. Centrifugal cleaner constructive parameters impact on oils purification rate Rationale.

Centrifugal, cleaner, hydraulic, system, oil, method, finite, element.

The article describes the features of the application of finite element method in the analysis of centrifugal oils purification. The results of researches to validate the constructive parameters of the centrifugal cleaner have been performed.

Sidorov E.A., Ukhanov A.P., Zelenina O.N. Vegetable oils oily acid composition and diesel mixed fuels assessment based on camelina, coleseed and oilseed flax.

Diesel, fuel, oil, component, ultrasound.

The results of studies oily acid composition of camelina, coleseed and linseed oils and diesel mixed bio fuels

based on them have been provided. The estimation of influence ultrasound on the oily acid composition of vegetable oils and mixed bio fuels has been performed.

Byhchenin A.P., Byhchenina M.A. Influence of bio fuels on the resource of precision pairs of diesel fuel equipment.

Fuel, mixed, mineral-oil, steam, precision, life, engine, diesel.

Theoretical preconditions of increase precision pairs resource are submitted when using mixed bio fuels. The technique and results of basic researches of antiwear properties of mixed bio fuels has been presented.

Kubeisinov M. K. About possibility of formalization methods to prevent cold cracks while high-strength low-alloyed steel welding.

Welding, steel, cold, cracks, standartizations.

The paper presents a possibility and a model of formalizing cold cracking prevention methods in standards of welding of high strength low alloyed soft steel.

Frolov N. V., Mosina N. N. Making auger with parameters set.

Auger, screw conveyer, making

The algorithm for calculating of auger spiral loft with set parameters was proposed.

Gretsov A.S. Mishanin A.L., Yanzina E.V. Kurochkin A. A. Geometrical and dynamic factors impact on protein holding substrata dehydration process.

Meat, substratum, forces, liquid.

In article the question of receiving the concentrated forages on the basis of proteinaceous substrata is being considered. Need of replacement of moisture from meat -fish waste for the purpose of their further processing. Analytical expressions on definition of a device compression knife form have been presented.

Konovalov V.V., Novikov V.V., Aziatkin D.N, Gretsov A.S. Non-stop mix preparation process modelling by the extruder batch mixer.

Mixer, blade, capacity, mix, power, uniformity, torque, tank.

Schemes of functioning of the extrusive unit and its batch mixer have been provided. Results of theoretical researches on mixes preparation working process going on extruding by the batch mixer non-stop action have been presented. The theoretical expressions, allowing to establish influence of design data on the capacity spent for process of hashing are given. Expressions on capacity scoping proceeding from duration of hashing and unevenness of a received mix have been also presented.

Grigorov P.P., Shkrabak R.V. Transport safety and its improvement ways.

Transport, security, analysis, ways, improvement.

The article analyses transport security, including the dynamics of traffic accidents, types of violations of traffic Rules, their consequences. Provides information on the number of accidents, heavy and lethal outcomes in them, ways of solving the problem.

Konovalov V.V., Teryushkov V.P., Chupshev A.V., Konovalov V.V. Blade-tape working body mixer for dry feeds design and kinematic parameters optimization.

Mixing ratio, variation, inequalities, faucet, mixer, energy intensity, stirring, power, actuator.

The description of the mixer of non stop action with the combined working body has been presented. Results of pilot studies of the mixer on determination of unevenness of a mix, power consumption, hashing power consumption have been presented. Parameters of the combined working body are proved: frequency of rotation of working body – 240 min⁻¹ at 6 bar-tape blades.

Shkrabak R.V. Injury frequency index theoretical analysis in agriculture and ways to reduce.

Analysis, theoretical, distribution, rate, frequency, injury, path, decline.

The article shows a schematic diagram of the relationship of work in agriculture, affecting factors, and outcomes of injuries in the agricultural production, as well as theoretical analysis of the distribution of the frequency of injuries in the agricultural sector and reasonable ways to reduce it. It is proved that the frequency rate of accidents is allocated to agricultural enterprises for the normal law.

Komlik I.P. Substantiation of the forage crusher design-technological scheme.

Crusher, quality, capacity, productivity, consumption/

The article presents a forage crusher design-technological scheme, functioning diagram, as well as flow chart of the research and sequence of calculations to determine the optimum operating parameters.

Shkrabak V.S., Grigorov P.P., Skrabak R.V., Braginets Y.N., Solovjeva V.P. Road transport safety problems featuring and reduction ways.

Featuring, transportation, security, lower, path.

The results of studies on safety problems featuring within road transport and its solutions. Attention is paid to quantitative important indicator of problems for transport and roads for various purposes density of traffic on various roads and injuries in road accidents. Identified ways of labour saving measures have been found out.

Информация для авторов

Самарская государственная сельскохозяйственная академия предлагает всем желающим аспирантам, преподавателям, научным работникам опубликовать результаты исследований в научном журнале «Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии», который включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, по следующим рубрикам:

I полугодие

Выпуск 1

Ветеринарная медицина;
Биотехнология и экология животных.

Выпуск 2

Экономика, организация, статистика и экономический анализ;
Менеджмент и маркетинг, бухгалтер и финансы, экономическая теория;
Педагогика и психология.

II полугодие

Выпуск 3

Эффективность и эксплуатационная надежность сельскохозяйственной техники;
Современные технологии и средства механизации в растениеводстве;
Машиноиспользование в специализированных технологиях АПК.

Выпуск 4

Агрономия и защита растений;
Технология переработки сельскохозяйственной продукции, товароведение, экспертиза и таможенное дело.

Индекс по каталогу «Почта России» – 72654.

Периодичность выхода – 4 раза в год.

Адрес редакции: 446442, Самарская область, г.о. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2, тел.: (84663) 46-2-47,

E-mail: ssaariz@mail.ru

Требования к оформлению статей

Статьи представляются в редакционно-издательский центр на русском языке (1 экз. и их электронные варианты на CD RW, архиваторы не применять). Бумажный и электронный вариант должны полностью соответствовать друг другу.

Статья набирается в редакторе Microsoft WORD со следующими установками: поля страницы сверху – 2 см, слева – 3 см, рамка текста 16 x 25 см. Стиль обычный. Шрифт – Times New Roman Суг. Размер – 13, межстрочный интервал для текста – полуторный, для таблиц – одинарный, режим выравнивания – по ширине, расстановка переносов – автоматическая. Абзацный отступ должен быть одинаковым по всему тексту (1,27 см). Слева без абзаца УДК или ББК, пропущенная строка – название статьи (жирным 14 размер), пропущенная строка – ФИО, место работы, ученая степень, ученое звание, должность, контактные телефоны с указанием кода, почтового и электронного адресов, затем пропущенная строка – ключевые слова (3-5 слов), пропущенная строка – аннотация на статью средний объем 500 печ. знаков (не более 6 строк), 12 размер, интервал одинарный, пропущенная строка и ФИО, название статьи, ключевые слова и аннотация на **английском языке**, затем текст статьи (размер шрифта – 13). Текст публикуемого материала должен быть изложен лаконичным, ясным языком. **В начале статьи следует кратко сформулировать проблематику исследования (актуальность), затем изложить цель исследования, задачи данной работы, в конце статьи – полученные научные результаты с указанием их прикладного характера.**

В тексте могут быть таблицы и рисунки, таблицы создавать в WORD. Иллюстративный материал должен быть четким, ясным, качественным. Формулы набирать без пропусков по центру. Рисунки и графики только штриховые без полутонов и заливки цветом, подрисовочные надписи выравнивать по центру. Статья не должна заканчиваться формулой, таблицей, рисунком.

Объем рукописи 7-10 стандартных страниц текста, включая таблицы и рисунки (не более трех). Заголовок статьи не должен содержать более 70 знаков.

Библиографический список оформлять по ГОСТ 7.1-2003 (**7-10 источников не старше 10 лет**), по тексту статьи должны быть ссылки на используемую литературу (в квадратных

скобках), **НЕ ДОПУСКАЮТСЯ ССЫЛКИ НА УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ.**

В конце статьи в обязательном порядке указывается рубрика, в которую вы хотите поместить свою статью. Статья подписывается автором и научным руководителем (для аспирантов), прикладывается рецензия специалиста по данной тематике (доктора наук или профессора) и ксерокопия абонемента на полугодовую подписку журнала в соответствии с количеством заявленных авторов. Представляется лично в РИЦ в установленные сроки.

За содержание статьи (точность приводимых в рукописи цитат, фактов, статистических данных) ответственность несет автор (авторы). Материалы, оформление которых не соответствует изложенным выше требованиям, редколлегией не рассматриваются.

Текст статьи проверяется на антиплагиат, уникальность должна быть не ниже 90%.

Плата с аспирантов за публикацию рукописи не взимается. Поступившие в редакцию материалы проходят экспертную оценку. В случае отрицательной рецензии статья с рецензией возвращается автору. Отклоненная статья может быть повторно представлена в редакцию после доработки по замечаниям рецензентов. Принятые к публикации или отклоненные редакцией рукописи и дисковые носители авторам не возвращаются.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

УДК 636.2.082.84

ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ КОРОВ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ИХ ПОТОМСТВА

Симонов Геннадий Александрович, д-р с.-х. наук, начальник производственного отдела управления сельского хозяйства ОАО «Газпром».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

Тел.: 8 (84663) 46-2-46.

Ключевые слова: молодняк, репродукция, лактация, сухостой, коэффициент.

Приводятся данные о росте и развитии телок, полученных от матерей, имеющих различную продуктивность и продолжительность периодов сухостоя и срока плодотворного осеменения. Доказано, что уровень продуктивности, продолжительность сухостоя, лактации влияют на продуктивные и репродуктивные качества телок.

Simonov H.A. The Heifers Reproductive and Productive Qualities, Received from Cows in Intensive Technology Conditions.

Milk yield, reproduction, dead wood, sexual hunting, fertility.

The heifers dairy efficiency and milk quality reproductive ability gradients depending on their origin are resulted. Dams dairy efficiency level influence degree on their daughters productive and reproductive qualities is certain.

Молочное животноводство на протяжении ряда лет остается одним из приоритетов аграрной политики Правительства Самарской области. Особенно пристальное внимание уделяется развитию животноводства с принятием «Национального проекта развития животноводства Российской Федерации» и с принятием целевой комплексной программы развития АПК Самарской области до 2013 г. Особое место в программе отведено вопросам создания в области племенной базы по выращиванию высокопродуктивного ремонтного молодняка.

Цель исследования – повышение качества ремонтного молодняка крупного рогатого скота, в связи с чем, была поставлена **задача** – изучить влияние продолжительности сервис-периода, лактации, межотельного периода на рост и развитие телок.

Заключение (продолжение текста).

Библиографический список

1. Воробьев, А. В. Сроки хозяйственного использования молочного скота черно-пестрой и голштинской пород в Поволжье / А. В. Воробьев, А. В. Игонькин // Вестник РАСХН. – 2013. – №4. – С. 55-56.

Убедительно просим проверять текст на наличие орфографических и синтаксических ошибок, а электронные носители на наличие вирусов.