МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

***Факультет «Технический сервис в АПК»***

# СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА В АПК

Материалы Международной
научно-практической конференции

*(Минск, 24–25 ноября 2022 года)*

Минск
БГАТУ
2022

УДК 631.173.4

**Современные** проблемы и пути развития технического сервиса в АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 24–25 ноября 2022 года) / редкол.: Л. М. Акулович [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2022. – 356 с. – ISBN 978-985-25-0194-1.

Издание содержит результаты исследований ведущих специалистов и ученых учреждений высшего образования, научных организаций и производственных предприятий агропромышленного комплекса Беларуси, России, Казахстана и других стран по проблемам развития технического сервиса в агропромышленном комплексе.

Сборник предназначен для инженерно-технических и научных работников, аспирантов, студентов и слушателей системы повышения квалификации и переподготовки управленческих кадров.

Редакционная коллегия:

*Акулович Л. М.*, д-р техн. наук, проф., профессор кафедры технологии металлов УО «Белорусский государственный аграрный технический университет» (научный редактор);

*Жданко Д. А.*, канд. техн. наук, доц., декан факультета «Технический сервис в АПК» УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»;

*Тарасенко В. Е.*, канд. техн. наук, доц., заведующий кафедрой технологий и организации технического сервиса УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»;

*Толочко Н. К.*, д-р физ.-мат. наук, проф., профессор кафедры технологий и организации технического сервиса УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

*Материалы опубликованы на языке оригинала с сохранением орфографии и пунктуации авторов. Ответственность за достоверность публикуемых материалов несут их авторы.*

**ISBN 978-985-25-0194-1**

© БГАТУ, 2022

УДК 621.81

**Герасимов В.С.,** ведущий специалист;
**Соломашкин А.А.,** ведущий специалист;
**Тишанинов И.А.,** инженер;
**Градов Е.А.,** ведущий специалист
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Российская Федерация*

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЯ СКОРОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

***Аннотация.*** *В работе представлены аналитические материалы практических исследований по контролю скорости изнашивания деталей силовых установок сельскохозяйственной техники. В качестве объекта исследования взята система топливоподачи, а именно насос высокого давления (ТНВД).*

Анализ статистических данных об отказах тракторов, комбайнов и автомобилей свидетельствует о том, что на первом месте по отказам стоит двигатель внутреннего сгорания, а на двигателе – система топливоподачи, в частности, топливный насос высокого давления (ТНВД) [1].

В ТНВД основные отказы приходятся на плунжерные пары, которые формируют расход топлива, т.е. определяют мощность и экономичность ДВС [2]. Ресурс плунжерных пар и их безотказность, являются основными показателями надёжности всего ТНВД. Следовательно, изучение показателей надёжности плунжерных пар является актуальной технико-экономической задачей и в качестве объекта исследований целесообразно взять техническое состояние плунжерных пар, которое определяется величиной цикловой подачи ТНВД.

Экспериментальные исследования по определению цикловой подачи проводились на топливном насосе марки УТН-5, имеющем 4 плунжерные пары.

Число наблюдений определялась по методике, изложенной в [3] или вычислялась по формуле:

$$\frac{t_{в}}{\sqrt{N}} = \frac{\delta}{V} \qquad (1)$$

где $t_B$ – верхняя односторонняя доверительная граница;

δ – относительная ошибка, характеризующая степень точности определения среднего значения;

V – коэффициент вариации;

N – число наблюдаемых объектов.

В качестве наблюдаемого объекта для ускоренных испытаний были выбраны 24 одноименных плунжерных пар, а именно: 16 из отремонтированных насосов и 8 насосов, снятых с эксплуатации в результате отказа.

Результаты экспериментальных исследований получены по «методике проведения стендовых ускоренных износных испытаний ТНВД типа УТН-5».

Отбирались три группы одноименных деталей, т.е. плунжерных пар: новых, с отремонтированных насосов и с насосов, работающих в эксплуатации. Общее количество: 24 шт. Плунжерные пары устанавливались на стенд, специально подготовленный для этих испытаний. Для него была подготовлена специальная рабочая жидкость с элементами абразивного износа и измерительные мензурки, соответствующего типа. Отсчет показаний проводился через каждые 30 минут и записывался в специальный журнал. Через каждые 2 мото-часа помечали данные о тех плунжерных парах, которые отказали, и тех, которые достигли допуска.

На первом этапе исследований допуск был постоянный и устанавливался на уровне 60 % от предельного значения параметра (предела). Особое внимание уделяли парам, которые достигали допуска и должны были отказать в течение следующего межконтрольного периода, т.е. в следующие 2 мото-часа. Это предварительно замененные пары, которые в условиях рядовой эксплуатации обязательно должны были отказать. Их надо было менять в данный момент, т.к. у них большая скорость изнашивания и они первыми выйдут из строя.

Далее устанавливалась следующая партия плунжерных пар и т.д. Потом вместо постоянного использовался переменный допуск,

подсчитывалось количество отказов и сроки службы плунжерных пар для этого варианта.

Ниже представлены результаты определения цикловой подачи насосов первой группы. Аналогично проводились работы для второй и третьей группы.

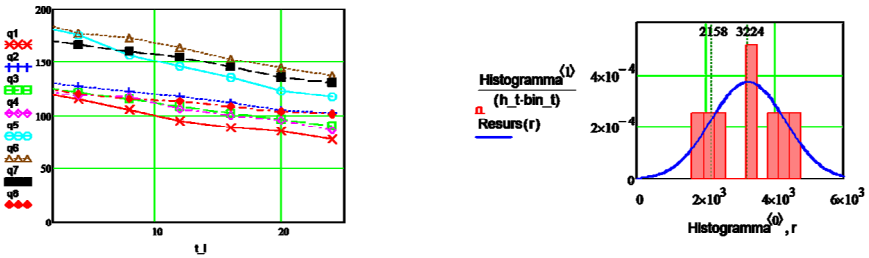
Цикловая подача отремонтированных насосов первой групп *g*, мм$^3$/цикл, в стендо-часах *t_i*, приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Цикловая подача отремонтированных насосов первой группы *g*, мм$^3$/цикл, полученная при стендовых ускоренных износных испытаниях в стендо-часах *t_i*

| № плунж. пары | Наработка, стендо-часы | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 | 24 |
| 1 | 122,7 | 115 | 105,5 | 95,3 | 89,2 | 85,1 | 77,8 |
| 2 | 132.3 | 126.8 | 122.5 | 117.1 | 111.7 | 105.2 | 102 |
| 3 | 127.9 | 121.8 | 115.1 | 108.5 | 102 | 96.7 | 90 |
| 4 | 125.1 | 118.4 | 117.4 | 106.2 | 100.1 | 96.1 | 86.2 |
| 5 | 185.9 | 175.5 | 156.6 | 145.6 | 135.5 | 123 | 117.6 |
| 6 | 192.3 | 177.3 | 173.2 | 164.2 | 152.6 | 144.1 | 136.7 |
| 7 | 173.7 | 166.9 | 160.1 | 155.2 | 145.1 | 135.1 | 130.7 |
| 8 | 128.7 | 120.2 | 115.4 | 113.3 | 108 | 103.6 | 101.1 |

График цикловых подач первых восьми отремонтированных насосов, приведён на рисунке и закон распределения ресурса этих насосов *Resurs(r)* приведён на рисунке 1.

*g1*…g*8* – Значение цикловой подачи, *t_i* – наработка стенда, стендо-час




a) b)

Рисунок 1 – a) Цикловая подача плунжерных пар отремонтированных насосов первой группы – $g_1 \ldots g_8$, b) Закон распределения ресурса первой группы насосов

Закон распределения ресурса насосов позволяет определить характеристики потока их отказов, в частности их средний срок службы.

Средний ресурс насосов $T_{ср1}$ = 3224 мото-час, коэффициент вариации ресурса $v$ = 0.331.

Средний фактический ресурс $T_{ср\ 1\ ф1}$ при одном допуске $D$ = 60 % и вероятность отказа $Q_1$ для постоянного допуска и $T_{ср\ 2\ ф2}$ и $Q_2$ для переменного допусков, определялись по результатам расчета: $T_{ср\ 1\ ф1}$ = 1945, $T_{ср\ 2\ ф2}$ = 2606, $Q_1$ = 0,6, $Q_2$ = 0,1.

Ширина активного участка контроля (АУК) = $T_{ср1} \pm 2\sigma$ = 3224 ± 2·1066 = 1092...5156. Условный коэффициент скорости изнашивания 1,1...5,2.

Сводные результаты для трех групп насосов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Сводная таблица результатов экспериментальных исследований

| № группы насосов | $T_{ср}$ | $T_{ср\ 1\ ф1}$ | $T_{ср\ 2\ ф2}$ | Вероятность отказа $Q_1$ | Вероятность отказа $Q_2$ | Коэфф. вариации ресурса, ν |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2421 | 1627 | 1841 | 0,6 | 0,1 | 0,242 |
| 2 | 2784 | 2150 | 2156 | 0,0 | 0,04 | 0,096 |
| 3 | 3224 | 1945 | 2606 | 0,6 | 0,1 | 0,331 |

Для сравнения основных показателей надёжности, полученных при использовании постоянного и переменного допусков, использовались два стандарта организации СТО ВИМСТАНДАРТ 005-2018 «Методика определения системы допусков для деталей сельскохозяйственных машин с учётом скорости их изнашивания» и СТО ВИМСТАНДАРТ 004-2018 «Методика определения основных показателей надёжности деталей сельскохозяйственных машин с различной скоростью изнашивания».

В соответствии с этими методиками определялись основные показатели надёжности трёх ТНВД, полученные при постоянном и переменном допусках.

Результаты эксперимента для трех групп насосов при постоянном и переменном допуске приведены в таблице 3. Средний условный коэффициент скорости изнашивания 1,5...4,1.

Таблица 3 – Сводная таблица результатов экспериментальных исследований 3-х групп насосов

| Номер насоса | | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|
| *D – const* | $q_{отк}$ | 0,6 | 0,0 | 0,6 |
| | *T*, мото-час | 1627 | 2150 | 1945 |
| *D – var* | $q_{отк}$ | 0,1 | 0,04 | 0,1 |
| | *T*, мото-час | 1841 | 2156 | 2606 |

**Выводы:**

– экспериментально доказана возможность использования указанных технологий при определении показателей надёжности деталей машин во время их диагностирования;

– в результате проведения экспериментальных исследований согласно методике 3.2 получены показатели надёжности для 24 плунжерных пар, а также законы распределения их ресурса;

– полученные законы распределения ресурса показали, что средний коэффициент вариации ресурса ТНВД типа УТН-5 составляет $0{,}096 < \nu < 0{,}331$. Средний условный коэффициент вариации скорости изнашивания составляет 1,5...4,1. Такие значения коэффициента вариации ресурса свидетельствуют о том, что этот закон описывается законом нормального распределения ресурса;

– для методики с постоянным допуском уменьшение коэффициента вариации $\nu$ ведёт к росту среднего фактического значения ресурса $T_{ср\ 1\ ф}$;

– для методики с переменным допуском рост среднего фактического значения ресурса $T_{ср\ 2\ ф}$ наблюдается при увеличении $T_{ср}$;

– для двух методик средняя вероятность отказа и замены практически не отличается друг от друга. Отличие составляет 0,3…0,7%;

– для методики с постоянным допуском расчетная вероятность отказа составляет $1{,}33 \cdot 10E^{-3}$… $9{,}27 \cdot 10E^{-3}$, а с переменным – $1{,}04 \cdot 10E^{-4}$…$1{,}33 \cdot 10E^{-3}$, что в среднем в 7,5 раза больше, чем с постоянным допуском;

– для методики с постоянным допуском средний фактический ресурс составляет 1907 мото-часов, а с переменным допуском – 2201 мото-часов, что на 15 % больше.

Список использованных источников

1. Мишина З.Н. Нормативы для планирования ремонта тракторов / З.Н. Мишина, С.А. Горячев // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. – 2015. – №1. – С. 66–68.

2. Лебедев П.А. Повышение ресурса плунжерных пар топливных насосов высокого давления дизельных энергосредств сельскохозяйственного назначения. Автореф. дисс. … канд. техн. наук. Зерноград, 2012. – 19 с.

3. Миф Н.П. Модели и оценка погрешности технических измерений. – М.: Издательство стандартов, 1976. – 144 с.

**Abstract.** The work presents the analytical materials of practical research on the control of the speed of wear of the parts of power plants of agricultural machinery. The fuel supply system was taken as an object of research, namely high-pressure pump (TNVD).

УДК 629.3:665:661.8

**Федотов А.В.,** доктор технических наук;
**Дорохов А.С.,** доктор технических наук, академик РАН, профессор
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение*
*«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»,*
*г. Москва, Российская Федерация*

## НАНОСТРУКТУРНЫЙ ОКСИГИДРОКСИД АЛЮМИНИЯ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА МАШИН

***Аннотация.*** *Изучены триботехнические свойства наноструктурного оксигидроксида алюминия. Показана перспективность его применения в качестве приработочного и профилактического препарата. Обосновано его применение для ремонтно-восстановительных целей.*

В техническом сервисе машин и оборудования широко применяются разнообразные добавки к маслам, позволяющие уменьшить коэффициент трения и износ в местах сопряжения деталей. Среди неорганических добавок эффективными оказались давно известные материалы слоистого строения: графит, молибденит, тальк, монтмориллонит (глинистый минерал), каолин и другие. Материалы профилактические, используются для уменьшения трения и скорости изнашивания и в результате повышения послеремонтного ресурса сельскохозяйственных машин. Другая группа слоистых материалов на основе минералов группы серпентина относиться к ремонтно-восстановительным составам способным восстанавливать изношенные сопряжения путем наращивания слоя в местах трения.

Новым триботехническим материалом, хорошо зарекомендовавшем себя в качестве триботехнической добавки является оксигидроксид алюминия AlOOH (бемит) [1].

Целью работы является оценка перспектив применения бемита в качестве профилактического и ремонтно-восстановительного составов.

В работе использовали бемит, полученный гидротермальным синтезом (ГТС) из порошка алюминия марок АСД – 6 или АСД – 4 [2]. Реакция является гетерогенной, экзотермической, проходящей в докритических условиях. Бемит, полученный этим методом, отличается высокой химической и фазовой чистотой, стабильностью структуры. Порошок обладает значительной удельной поверхностью (75–80 $м^2/г$), является нанокристаллическим (размер кристаллитов 60–70 нм). Нагрев бемита приводит к дегидратации, фазовым превращениям, образованию неравновесных структур, самоизмельчению исходных агрегатов и частиц.

Приработку дизеля Д-243 проводили на обкаточно-тормозном стенде КИ-3540-ГОСНИТИ. Для испытания бемит растирали с олеиновой кислотой и суспензию обрабатывали ультразвуком. Испытания показали стабилизацию компрессии в цилиндрах на уровне 3,0 МПа через 30–40 минут. Без бемита требовалось не менее 80-ти минут для этих же значений компрессии (таблица 1).

Таблица 1 – Динамика компрессии при приработке дизеля (в скобках значения, полученные с добавкой бемита)

| | Время обработки, мин | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 |
| Давление, МПа | 2,6 (2,65) | 2,85 (2,82) | 2,9 (3,0) | 2,97 (3,0) | 3,0 (3,0) |

После 120 мин приработки с бемитом эксперименты показали в 1,4–1,7 раза меньшую шероховатость вкладышей и поршневых колец, меньший износ компрессионного кольца (в 2,5 раза), расхода картерных газов, температуры на 10–16 °С. В целом ввод бемита повысил износостойкость деталей сопряжений и уменьшил приработочный износ. Уменьшение приработочного износа увеличивает эксплуатационный ресурс, т. к. возрастает величина допустимого износа сопряжений. Добавка бемита повышает качество приработки двигателей, обеспечивая экономию эксплуатационных затрат.

Добавка на основе бемита хорошо зарекомендовала себя в условиях двигателя внутреннего сгорания (ДВС) с твердостью деталей 52-56 HRC и 10–11 классом чистоты. Зубья зубчатых колес трансмиссий, в т. ч. в редукторах (стали типа 18ХГТ) и подшипники качения (стали типа ШХ-15) имеют твердость 179 – 207 МПа или 61-63 HRC при классе чистоты 7–8 с шероховатостью Rz 3,2–6,0 мкм. Нанодисперсность частиц бемита приводит к их вдавливанию в глубокие впадины шероховатостей грубых поверхностей зубьев зубчатых колес и, поэтому абразивность порошка бемита в агрегатах трансмиссий оказалась слабой. Кроме того, в условиях трения и повышенной температуры в точках контакта может происходить дезагрегация бемита и его разложение с образованием безводных форм оксидов алюминия, что еще больше уменьшает размер частиц.

Состав для ускоренной обкатки узлов трансмиссий разрабатывали совместно со специалистами Ивановской ГСХА [3]. Состав включает дизельное отработанное масло, каолин, тальк, высокодисперсный порошок бемита ГТС и ПАВ. Производственные испытания проводили на редукторе мобильной буровой установки. Конструктивной особенностью установки является наличие высокотвердых зубчатых колес, опорных подшипников. По сравнению с обкаткой на штатном трансмиссионном масле ТМ-3 наблюдалось ускорение приработки (в 2,5 раза), снижение температуры смазки (на 13 °С), увеличение площади приработанной поверхности деталей (в 2,0–2,7 раз). Положительный эффект обусловлен соответствующими физико-механическими свойствами каолина и талька и размерами их частиц (единицы мкм), сопоставимыми с размерами неровностей деталей редуктора. Таким образом для деталей большей шероховатости и твердости эффективны композиции бемита с минеральными компонентами большего размера.

Сравнительные испытания известных и новых триботехнических материалов (таблица 2) проводили по схеме «ролик-колодка» (ролик – сталь 40Х, колодка – чугун (гильза цилиндра дизеля Д-240) на машине трения модели 2070 СМТ-1М с вращательным характером движения образцов и с возвратно-поступательным движением меньшего образца (фрагмент поршневого кольца) по большему (фрагмент гильзы цилиндра ДВС) на модернизированной машине трения модели 77МТ-1М. Триботехнические добавки испытывали в одинаковых условиях. Концентрацию добавок готовили по рекомендациям производителя. В качестве ПАВ использовали соль ме-

ди жирной кислоты. При необходимости суспензию обрабатывали ультразвуком (УЗО).

Испытания показали эффективность составов, содержащих наноструктурный бемит и металлоплакирующую добавку МПП-ИГСХА-ТС. Наилучшим выявлен состав на основе бемита с добавкой ПАВ после УЗО. Состав обеспечил низкий коэффициент трения (0,044-0,055) в широком диапазоне давлений 50–160 МПа, что увеличивает ресурс сопряжений деталей и уменьшает эксплуатационные затраты. Препараты РВД, ХАДО, СТРИБОЙЛ, FORSAN содержащие серпентин, разрабатывались в качестве ремонтно-восстановительных и проявляют эффективность в других условиях испытаний, а настоящие испытания характеризуют скорее профилактическую способность препаратов.

Таблица 2 – Перечень составов и результаты испытаний

| Наименование добавки | Коэффициенты трения при нагрузке, Н | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100 | 150 | 250 | 350 | 550 | 650 |
| «СТРИБОЙЛ», УЗО | 0,082 | 0,062 | 0,048 | 0,048 | 0,123 | – |
| Бемит с ПАВ, УЗО | 0,077 | 0,055 | 0,046 | 0,044 | 0,049 | 0,055 |
| МПП ИГСХА-ТС 1% | 0,065 | 0,046 | 0,039 | 0,056 | 0,120 | – |
| FORSAN | 0.075 | 0.065 | 0.078 | 0.090 | – | – |
| ХАДО | 0,076 | 0,073 | 0,078 | 0,123 | – | – |
| РВД от «Триггер» | 0,075 | 0,061 | 0,053 | 0,053 | 0,120 | – |
| Чистое масло М-10ДМ | 0,064 | 0,062 | 0,065 | 0,127 | – | – |

Механизм действия наноструктурного бемита заключается в очистке поверхностей трения, подшлифовке поверхностей и уменьшения их шероховатости, роли третьего тела в трибопаре. Определенную роль играет пластичность бемита и его разложение в местах трения с выделением воды, которая не допускает перегрева поверхности, керамизация локальных дефектов.

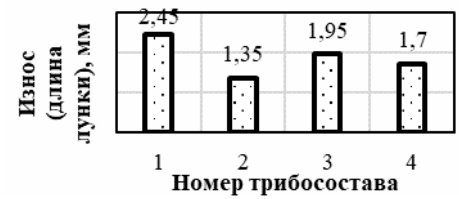



Рисунок 1 – Гистограмма износа колодки

Результаты испытаний на износостойкость (на машине трения 77МТ-1М) показали наименьший износ колодки для состава №2,

содержащего бемит (рисунок 1.). Остальные составы содержат серпентин. Меньший износ и коэффициент трения обеспечивают долговечность мест сопряжений деталей. В целом введение в масла бемита уменьшает коэффициент трения, износ деталей ДВС при обкатке, замедляет скорость изнашивания ресурсных сопряжений при эксплуатации.

Испытание на машине трения 77МТ-1М является испытанием на физической модели в которой реализуется физическое подобие (те же материалы деталей и кинематика поступательного движения поршня по поверхности цилиндра). Испытания проводили в сжатом масштабе времени (форсированные испытания). Сравнение интенсивности изнашивания деталей с новой смазкой и со смазкой-аналогом для которой имеются данные по эксплуатации позволяет легко оценить увеличение ресурса. Рассчитанная экономическая эффективность от применения наноструктурного бемита за счет увеличения ресурса для парка 10 000 с/х машин составила 256 млн. руб. в год.

При значительных износах продлить срок службы без разборки и ремонта агрегата могут ремонтно-восстановительные препараты (РВП). В настоящее время доказанными РВП являются препараты, содержащие серпентин. В связи с этим проведено сравнение физико-химических свойств бемита и известных прибопрепаратов (таблица 3).

Таблица 3 – Некоторые свойства бемита и прибопрепаратов

| Свойства | Серпентины | Бемит | Тальк | Вагнер |
|---|---|---|---|---|
| Химическая формула | $3MgO4SiO_22H_2O$ | $AlOOH$ | $3MgO4SiO_2H_2O$ | $BN$ |
| Содержание воды, % | 12–13 | 15 | 4,8 | - |
| Твердость по Моосу | 2,5–4,0 | 3,5 | 1 | 1 |
| Т дегидраации, °С | 150–300 | 300-600 | 850-1300 | - |
| Соединения с FeO, $Fe_2O_3$ | $MgOFe_2O_3$, $2FeOSiO_2$, | $FeOA_2O_3$, $Fe_2O_3A_2O_3$ | $MgOFe_2O_3$, $2FeOSiO_2$, | - |
| Каталитическое действие | + | + | - | - |

Все четыре вещества таблица 4 имеют слоистую структуру и эффективно снижают коэффициент трения особенно препараты

фирмы Вагнер. Однако, только серпентин проявляет ремонтно-восстановительные свойства. В настоящее время нет доказанного механизма образования слоя серпентиновыми добавками. По нашему мнению, его действие обусловлено большими твердостью и содержанием воды, меньшей температурой дегидратации. Разложение серпентина в условиях трения приводит к образованию неравновестных структур, которые активны в физико-химических процессах (эффект Хедвалла) и активно участвуют в деструкции масла, образовании структур с соединениями железа. Известно, что масса образованного серпентинами покрытия превышает массу введенного вещества на порядок, а его состав в основном состоит из углерода [4]. Сказанное свидетельствует о каталитическом действии продуктов разложения серпентина на смазочную среду. Бемит подобен серпентину по многим физико-химическим свойствам (дисперсность, температура дегидратации, твердость, способность образовывать химические соединения и твердые растворы с оксидами железа, каталитические свойства), что позволяет предположить его перспективность и в качестве ремонтно-восстановительного состава. Материал искусственного происхождения, что позволяет рассчитывать на повышение стабильности свойств трибодобавки на его основе.

Список использованных источников

1. Mazalov Ju. A. Investigating the tribological properties of nanostructured boehmite / Ju. A. Mazalov, R.Y. Solovyev, N.N. Sergeev, A.V. Fedotov, A.V. Dunaev, P.A. Vityas, L.V. Sudnik // Journal of Friction and Wear. – 2015. – Vol. 36 (No. 6). – P. 481–486.

2. Берш А.В. Алюмоводородная энергетика / А.В. Берш, А.З. Жук, Ю.А. Мазалов, А.Е. Шейндлин и др.; под ред. Шейндлина А.Е. – М.: ОИВТ РАН, 2007. – 278 с.

3. Патент РФ №2711593. Композиция добавки к приработочному маслу для обкатки редукторов и приработочное масло / А.А. Гвоздев, Т.А. Комарова, А.В. Баранов, И.А. Пихальский, А.В. Федотов, А.В. Дунаев. – Заявка №2019137109 от 19.11.2019; опубл. 17.01.2020. Бюл. № 2.

4. Пичугин В.Ф., Щербинин В.М. Элементный состав, строение и толщина защитных пленок на поверхностях трения пары антифрикционный сплав-сталь в глицерине. М.: Труды ГОСНИТИ, 2011. – Т. 108. – С. 250–253.

**Abstract.** The tribological properties of nanostructured aluminum oxyhydroxide (boehmite) have been studied. The addition of boehmite to oils increases the running-in rate by 2–2.5 times, reduces wear, and ensures a low coefficient of friction. A comparative study of the physicochemical properties of boehmite and serpentine makes it possible to consider its use as a repair and restoration preparation promising.

UDK 631.

**Muhammad Bello Garba Ph.D**[1];
**Nuruddeen Abdullahi**[2];
**Umar Ahmad Muhammad**[3]
[1]*Department of Technical Education, Shehu Shagari University of Education, Sokoto*
[2]*Department of Technical Education, Shehu Shagari College of Education, Sokoto*
[3]*Umaru Ali Shinkafi Polytechnic, Sokoto*

## PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PEANUT PODS AND KERNELS FOR POST-HARVEST THRESHING PROCESS

***Abstract.*** *The study was carried out to determine some physical and mechanical properties of peanut pods and kernels for the design of peanut threshing machine. These properties included geometric diameter, surface area, sphericity, angle of repose, and coefficient of friction. The average values of the geometric diameter, surface area, sphericity, angle of repose, and coefficient of friction were found to be 11.90 mm, 373.30 mm2, 38.25 %, 27.50, and 0.42, respectively at moisture content of 6.82 % (db) for the peanut pods. Furthermore, the average values of the geometric diameter, surface area, sphericity, angle of repose, and coefficient of friction were found as 6.89 mm, 149.16 mm2, 62.06 %, 23.63 and 0.44, respectively at moisture content of 6.82 % (db) for the peanut kernels. The energy required to crush the peanut pods was determined as 1.88 kJ/kg for particular SAMNUT 24 peanut variety. The mean rupture force for the breaking of peanut pods was measured by keeping the pods on the test bench longitudinally, laterally and verti-*

*cally; the rupture force was found to be 62.37 N, 250.21 N and 32.74 N respectively.*

## ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРУЧКИ И ОРЕХА АРАХИСА ДЛЯ ПРОЦЕССА ПОСЛЕУБОРОЧНОГО ОБМОЛОТА

***Аннотация.*** *Исследование проведено с целью определения некоторых физико-механических свойств стручков и ядер арахиса для конструкции молотилки для арахиса. Эти свойства включали геометрический диаметр, площадь поверхности, сферичность, угол естественного откоса и коэффициент трения. Средние значения геометрического диаметра, площади поверхности, сферичности, угла естественного откоса и коэффициента трения составили 11,90 мм, 373,30 мм$^2$, 38,25 %, 27,50 и 0,42 соответственно при влажности 6,82 % (дб), для стручков арахиса. При этом средние значения геометрического диаметра, площади поверхности, сферичности, угла естественного откоса и коэффициента трения составили 6,89 мм, 149,16 мм$^2$, 62,06%, 23,63 и 0,44 соответственно при влажности 6,82 % (дб) для ядра арахиса. Энергия, необходимая для разрущения стручков арахиса, была определена как 1,88 кДж/кг для конкретного сорта арахиса SAMNUT 24. Среднее усилие разрыва при шелушении стручков арахиса измеряли, удерживая стручки на испытательном стенде в продольном, поперечном и вертикальном направлениях; сила разрыва составила 62,37 Н, 250,21 Н и 32,74 Н соответственно.*

Introduction

Peanut is one of the best oil crops for cooking in Nigeria and in the world at large. In Nigeria, it is planted on about 34 % of total cultivated area and contributes to 23 % of household cash revenue [1]. Due to its economical nature, peanut oil is used in soap making, cosmetic and food industry. Peanut kernels and residual oilcake have various usage such as peanut butter, edible oil and used as a fodder for livestock respectively.

The residual oilcake contains the three major elements (N, $P_2O_5$ and $K_2O$) in fertilizer which can be used by the farmers [2]. According to [3] and [4], peanut kernel contains 43–55 % edible oil, 40–50 % fat, 20–50 % protein, and 10–20 % carbohydrate depending upon variety and agronomic conditions of the peanut. Post-harvest manual processing of peanut consumes a lot of time and laborious and about two-third of the world's peanut production is crushed for oil and the remaining is consumed directly or sometimes as an ingredient in food [5].

Many scientists and researchers such as [6], [7] and [8] are of the opinion that there is need for determination of agricultural materials in terms of their physical and mechanical properties in relation to design of post-harvest machines. Most of the agriculture machines engaged in post-harvest processing of peanut pods are fabricated without considering the design parameters of the pods and kernels' physical and mechanical properties [9]. Knowing these properties build the engineering data required for machines design as well as help in increasing output efficiency and decreasing losses during operations [10] and [11]. [12] measured the size of peanuts and found mean major, intermediate, and minor diameters of the kernels as 8.54, 3.55, and 6.93 mm, respectively. It was also determined the angle of repose of kernels as 17°. [13] explained the variation in dimensions of groundnut kernels with moisture content. Therefore, this study was undertaken to determine some relevant physical and mechanical properties of Nigerian peanut such as weight, size, angle of repose, and coefficient of friction on wooden and metallic surfaces, which are necessary in the design of a peanut threshing machine.

Materials and Methods

Physical Properties of Peanut Pods and Kernels

About 5 kg of improved SAMNUT 24 variety of peanut pods were procured from Sokoto Agricultural Development Project (SADP) office in Sokoto, Nigeria. The physical and mechanical properties of peanut pods and kernels were measured at the Department of Technical Education, Shehu Shagari College of Education, Sokoto, Nigeria. Initially, the moisture content of peanut pods was determined using the standard hot oven dryer method described by ASAE (1983) at 103°C for 72 hours [14] which found to be 9.82 % (db).

Determination of the size of the peanut pods and kernels

One hundred peanut kernels and pods were randomly selected, and their three principal dimensions were measured using digital Vernier caliper with 0.01 mm accuracy. The geometric mean diameter (Dg), sphericity (ϕ), surface area (S) and aspect ratio (AR) were calculated as described in [15] and [16].

Determination of Thousand Kernel Mass

About one kilogram of peanut was divided in 10 equal portions. Thousand kernel mass (TKM) of peanut pod and its kernel was randomly picked from each portion, and separately weighed using a digital electronic balance (with accuracy of 0.01g, Battery Advanced Electronic Digital Weighing Scale, China). The experiments were replicated five times to minimize the error.

Determination of angle of repose

The peanut pods and kernels were taken onto a cylindrical box with a hole that allowed the pods and kernels to fall onto a level surface. The pods and kernels formed a conical heap on the level ground surface. The height (H) and diameter (D) of the conical heap were measured [17]. Then the angle of repose of peanut pods and kernels was determined by the following equation (1).

$$\theta = \tan^{-1} \frac{2H}{D} \tag{1}$$

Determination of coefficient of friction

The coefficient of friction of peanut pods and kernels was determined using the method described by [18]. The peanut pods and kernels were taken into a box of 160 mm length, 110 mm width and 50 mm height without base, and placed onto an adjustable inclined plate. The adjustable inclined plate was raised slightly until the sample box starts to slide onto the inclined plate and the inclined plate at which the sample box just begins to slide tight with the protractor through the adjustable screw. The vertical distance (V) and horizontal distance (H) were measured by the scale, and the coefficient of friction of peanut pods and kernels was determined by the following Equation (2).

The angle of internal friction can be measured directly by the protractor at which the sample box just starts slide on the inclined plate.

We know that,

$$\mu = \tan\alpha = \frac{V}{H}$$

$$\alpha = \tan^{-1}\frac{V}{H} \qquad (2)$$

Where, V – vertical distance from the fixed plate to the adjustable plate while sample box just start slide; H – horizontal distance between the connection point of plates to the point when sample box just starts slide and α – angle between the inclined plate and horizontal plate at which the sample box just starts slide (angle of internal friction).

Mechanical Properties of Peanut Pods

In order to break the peanut pod, there is need find out the actual force to perform this action without any damage to the kernels. The peanut pods were placed on a rupture testing machine at a predetermined load rate. The test was conducted when the pods are placed longitudinally, laterally, and vertically while applied forces were recorded in three replicates. The cracks formed on each position were analyzed with its corresponding force.

Table 1 – Physical and mechanical properties of peanut pods and kernels

| S/N | Properties | Qty. of samples | Mean value | | Standard deviation | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | pod | kernel | pod | kernel |
| 1. | Length (mm) | 100 | 28.50 | 11.11 | ±1.04 | ±1.46 |
| | Width (mm) | 100 | 7.17 | 4.53 | ±1.02 | ±0.56 |
| | Thickness (mm) | 100 | 6.41 | 4.05 | ±0.94 | ±0.82 |
| 2. | Geometric mean diameter (mm) | 100 | 10.90 | 6.89 | ±1.02 | ±1.00 |
| 3. | Surface area (mm2) | 100 | 373.30 | 149.16 | ± 133.71 | ± 43.31 |
| 4. | Sphericity (%) | 100 | 38.25 | 62.06 | ± 4.81 | ± 6.41 |
| 5. | Aspect ratio (%) | 100 | 25.16 | 40.77 | ± 5.62 | ± 7.99 |
| 6. | Moisture content (%, db) | 10 | 7.00 | 6.02 | ±0.44 | ±0.54 |
| 7. | Weight (g) | 1000 | 1091.5 | 520.6 | ± 22.28 | ±18.61 |
| 8. | Angle of repose pods (0) | 10 | 27.5 | 23.63 | ±4.61 | ±6.12 |
| 9. | Coefficient of friction | 10 | 0.42 | 0.44 | ±0.001 | ±0.002 |
| 10. | Crushing energy (kJ/kg) | 10 | 1.88 | – | | – |

Determination of energy requirement to crush the peanut pods

According to [19], the energy required to crush a peanut pod is calculated by the following formula (3):

$$E = 0.3162 \times W_i \left( \frac{1}{\sqrt{L_2}} - \frac{1}{\sqrt{L_1}} \right) \quad (3)$$

Where, E – energy required to crush (kJ/kg); Wi – work index of peanut pods for crushing (9 to14 kWh/ton) [20]; L1 – average length of uncrushed peanut pod (mm); and L2 – average length of crushed peanut kernel (mm).

The average length of peanut pods and kernels were measured L1=28.50 mm and L2=11.11 mm, respectively (Table 1), and the energy required to crush the peanut pods was calculated as E = 1.88 kJ/kg.

Results and Discussion

The obtained physical and mechanical properties of peanut pods and kernels are shown in Table 1 below. The mean length, width and thickness were found to be 28.50, 7.17, 6.41 and 11.11, 4.53, 4.05 mm respectively for SAMNUT 24 of peanut variety. According to [21], these parameters are useful when designing some important parts of the threshing machine such as hopper, crushing drum as well as the clearance between drum and the clearance between the drum flat iron beaters and the concave of threshing machine. They can also be used to determine the apertures of sieves in separation chamber of peanut threshing machine. The mean geometric diameter, surface area, sphericity and aspect ratio of peanut pods and kernels were calculated as 10.90 mm, 373.30 mm2, 38.25 %, 25.16 % and 6.89 mm, 149.16 mm2, 62.06 %, 40.77 % respectively. It is clear that the sliding effect of kernels is higher than that of pods as seen from their values. The mean weight of of peanut pods and kernels can be used to determine the size and capacity of feeding hopper as well as the crushing chamber that require stability during operation of the machine. Both angle of repose and coefficient of friction of pods and kernels are found to be 27.50, 0.42 and 23.630, 0.44 respectively. Due to rough surface of the peanut pods, it was observed that angle of repose for pod higher than that of kernels. However, the values of static coefficient of friction pods and kernels are useful conveying and threshing equipment [22].

Conclusion

Conclusively, in order to avoid breaking, crushing and damaging both pods and kernels during threshing and other post-harvest processing operation there is need to know the physical and mechanical properties of peanut pods that are useful in designing the agriculture post-harvest machines. This is also to overcome pod and kernels quality reduction and losses, therefore, there is need to characterize the pods and

kernels in terms of these properties before designing the threshing machine. The crushing force depend on the peanut variety and agronomic conditions of the crop but all the same, these varietal differences in the physical properties of peanuts were found to be non-significant at 95% probability level, one threshing machine can effectively handle varieties as experimented in the study.

Acknowledgements

This study was conducted at the Department of Technical Education, Shehu Shagari College of Education, Sokoto, Nigeria. The authors would like to express their heartfelt gratitude and sincere thanks to Tertiary Education Trust Fund (TETFund), for sponsoring this research work under Institutional Based Research (IBR) programme Batch 7: 2015–2021 Merged S/No. 161.

References

1. Ajeigbe H.A., Waliyar F, Echekwu C.A., Ayuba K, Motagi B.N., Eniayeju D. and Inuwa A. (2015). A Farmer's Guide to Groundnut Production in Nigeria. Patancheru 502 324, Telangana, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 36 pp.

2. Putnam, D.H., Oplinger, E.S., Teynor, T.M., Oelke, E.A., Kelling, K.A. and Doll, J. D. (2013). Alternative Field Crops Manual. Peanut.

3. Akcali, I.D., Ince, A.H. M. E. T., and Guzel, E. M. İ. N. (2006). Selected Physical Properties of Peanuts. International Journal of Food Properties. 9(1): 25–37.

4. Okello, D.K., Biruma, M., and Deom, C.M. (2010). Overview of Groundnuts Research in Uganda: Past, Present and Future. African Journal of Biotechnology. 9(39): 6448–6459.

5. Bunting A.H., Gibbons R W, Wynne J C. (1985). Groundnut (Arachis hypogaea L.). In: Grain Legume Crops, Summerfield, R.J. and E.H. Roberts (Eds.). Collins, London, ISBN: 0003830373, 747-800.

126. Maduako, J.N., Faborode, M.O. (1994). Characterization of the Breaking Behaviour of Whole Cocoa Pods. Journal of Agricultural Engineering Research 1994, 59: 89–96.

7. Makanjuola, G.A. (1972). A Study of Some Physical Properties of Melon Seeds. Journal of Agricultural Engineering Research, 17: 128–137.

8. Mohsenin, N.N. (1980). Physical Properties of Plant and Animal Materials: Structure, Physical Characteristics and Mechanical Properties. Gordon and Breach Science Publishers, New York, pp. 56–59.

9. Vinod Choudhary, Rajendra Machavaram, Vikas and Ravi Shankar Singh. (2020). Engineering Properties of Groundnut Pods and

Kernels: A Key Role for Designing the Post-harvest Processing Equipment. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. 9(08): 1751–1761. doi: https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.908.202.

10. Manuwa, S.I., and Afuye, G.G. (2004). Moisture Dependent Physical Properties of Soyabean (Var-TGx 1871-5E). Nigerian Journal of Industrial and Studies. 3(2): 45-54.

11. Razari, M.A., Emadzadeh, B., Rafe, A., and Mohammed, A.A. (2007). The Physical Properties of Pistachio Nut and its Kernel as a Function of Moisture Content and Variety, part 1 Geometric Properties. Journal of food Engineering. 81: 209-217.

12. Olajide, J.O., and Igbeka, J.C. (2003). Some Physical Properties of Groundnut Kernels. Journal of Food engineering. 58(2): 201–204.

13. Kaleemullah, S. (1992). The Effect of Moisture Content on the Physical Properties of Groundnut Kernels. Tropical Science. 32(2): 129–136.

14. Koushkaki, H.R., Moghadami, A.N., Zare, D., and Karimi, G. (2017). Experimental and Theoretical Investigation of Hot Air-infrared Thin Layer Drying of Corn in a Fixed and Vibratory Bed Dryer. Engineering in Agriculture, Environment and Food. 10(3): 191–197.

15. Mohsenin, N.N. (1986). Physical Properties of Plant and Animal Materials. Gordon and Breach Science Publishers, New York. No. 581.1 M 64.

16. McCabe, W.L., Smith, J.C., and Harriot, P. (1986). Unit Operations of Chemical Engineering. New York: McGraw-Hill. 5: 154.

17. Waziri, A.N., and Mittal, J.P. (1983). Design-related Physical Properties of Selected Agricultural Products. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America.14: 59–62.

18. Dutta, S.K., Nema, V.K., and Bhardwaj, R.K. (1988). Physical Properties of Gram. Journal of Agricultural Engineering Research. 39(4): 259–268.

19. Bond, F.C. (1952). The Third Theory of Comminution. Transactions on AIME Mining Engineering.193: 484–494.

20. Gelgelo, K. (2016). Design and Development of Groundnut Sheller. International Journal of Engineering Research. 4(2): 223–233.

21. Maduako, J.N., and Hamman, M. (2005). Determination of Some Physical Properties of Three Groundnut Varieties. Nigerian Journal of Technology. 24(2): 12–28.

22. Sahay, K. and Singh, K.K. (2003). Unit Operations of Agricultural Processing (2nd ed. Revised). New Delhi: Vikas Publishing House PVT LTD.

УДК 621.789

**Верченко Е.А.,** студентка магистратуры 2 курса;
**Копылова В.А.,** студентка магистратуры 1 курса;
**Романченко М.И.,** доцент, кандидат технических наук
*ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», п. Майский, Российская Федерация*

# ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ

***Аннотация**. Гильза цилиндра – это металлическая деталь, внутри которой происходит рабочий цикл – сжатие топливной смеси и расширение газов, в результате этого перемещается поршень. Гильза является самой нагруженной частью двигателя, так как поршень в процессе своей работы давит на неё с огромной силой. Поэтому от качества ремонта гильзы цилиндров зависит бесперебойная работа двигателя.*

Металлоемкость, себестоимость, надёжность, долговечность – это главные аспекты в машиностроении, на которые опираются при изготовлении деталей автомобилей. Металлоемкость и себестоимость, как правило – снижают, а надежность и долговечность деталей – повышают. Быстрое изнашивание деталей зависит от износостойкости рабочей поверхности в определенных условиях.

Эффективным методом повышения износостойкости является упрочнение поверхностей деталей. Подобный метод позволит экономить дорогостоящие легирующие элементы и позволит реализовать переработку износившихся деталей.

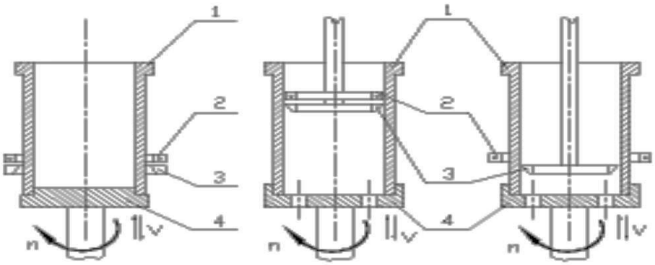
Россия имеет опыт по восстановлению деталей при ремонте, как отечественных, так и зарубежных автомобилей. Особое место среди применяемых в ремонтном производстве и восстановлении деталей занимает пластическая деформация. Ремонт деталей основывается на пластическом деформировании и последующей механической обработке восстанавливаемой поверхности.

Восстановление деталей данным методом является одним из распространенных. Метод заключается в изменении геометрической формы и размера за счет распределения материала без разрушения поверхностного слоя детали. Материал детали перемещают

от неизношенной поверхности к поврежденной поверхности под действием внешних и внутренних сил, что позволяет экономить затрачиваемую энергию [1].

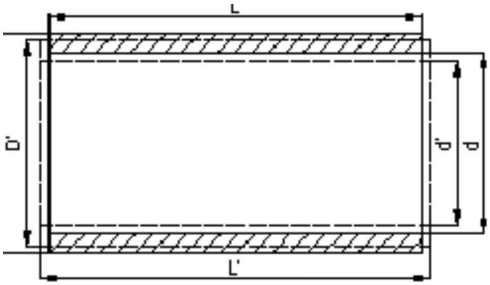
Термоупругопластическое деформирование (ТПД) занимает особое место среди методов восстановления пластическим деформированием. В процессе деталь нагревают, затем избирательно охлаждают, вследствие чего за счёт внутренних механизмов происходит перераспределение материала с нерабочих поверхностей на поврежденные и изношенные площади детали. Таким способом восстанавливают и упрочняют гильзы цилиндров двигателя и поршневые пальцы. Износ зеркала чугунной гильзы цилиндра не должен превышать 0,3 мм, а износ наружной цилиндрической поверхности поршневого пальца не должен превышать 0,03мм [2].

Рассмотрим восстановление гильз цилиндров термоупрогопластическим деформированием под действием внутренних сил. Можно выделить несколько способов, изображенных схематически на рисунке 1. Каждая из схем характеризуется созданием температурного градиента, движущегося вдоль оси гильзы. Удобной является схема размещения индуктора и спрейера снаружи гильзы цилиндров.




а) индуктор и спрейер расположены на внешней поверхности гильзы цилиндра;
б) индуктор и спрейер расположены на внутренней поверхности гильзы цилиндра;
в) индуктор находится снаружи, а спрейер находится внутри гильзы цилиндра;
1 – гильза цилиндра; 2 – индуктор; 3 – спрейер; 4 – центрирующая оправка
Рисунок 1 – Схемы способов восстановления внутренней цилиндрической поверхности гильз цилиндров термоупругостатическим деформированием

В результате термоупругопластического деформирования происходит перенаправление металла на внутреннюю поврежденную поверхность, как показано на рисунке 2.




D – наружный диаметр, d – внутренний диаметр,
L – длина или высота гильзы цилиндра;
D′, d′, L′ – те же размеры, но после термоупругопластического деформирования
Рисунок 2 – Изменение линейных размеров гильзы цилиндра
в результате термоупругопластического деформирования

Общий вид монтажа для термоупругопластического деформирования гильзы цилиндров показан на рисунке 3.

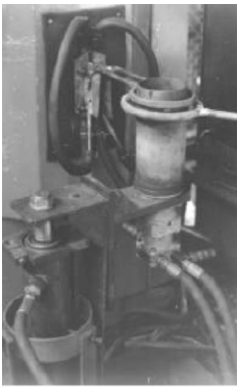


Рисунок 3 – Общий вид монтирования гильзы цилиндра дизеля

Подобный способ применяют для незакаливаемых гильз, изготавливаемых из специального легированного чугуна. Сначала гильзы прогревают до 500°С для повышения пластичности металла. При внутреннем диаметре гильзы 100–130 мм величина остаточного перемещения равна 0,7–1,3 мм, что достаточно при износе, равном 0,3 мм износа зеркала гильзы, величине коробления 0,1 мм и припуске на механическую обработку 0,3 мм.

Моделирование процесса дает возможность определить оптимальные режимы технологии. Особенность этого процесса заклю-

чается в нагревании детали ниже точки Ас1 на 20–30 °С методом создания температурного градиента вдоль оси. Гильзу перемещают относительно индуктора со скоростью 2,0–2,5 мм/с и охлаждают опрыскиванием ледяной водой. Затем деталь нагревают до температуры 350–400 °С с последующим охлаждением на воздухе, что снимает высокие термические напряжения в металле.

Нагрев производят ТВЧ петлевым индуктором, затем охлаждают кольцевым спрейером. Мощность генератора ТВЧ составляет 100 кВт, частота вращения гильз колеблется в пределах 30–50 мин$^{-1}$, скорость вращения гильз относительно индуктора равна 3 мм/с. Для охлаждения необходимо 20–40 л/м$^2$ воды [3].

Каждый цикл ТПД изменяет остаточные деформации внутренней цилиндрической поверхности, например, при первом цикле составит 0,7…1,3 мм, а при втором цикле – 1,1…1,9 мм. Происходит уменьшение как внутреннего, так и внешнего диаметра гильзы. Чтобы восстановить наружные посадочные пояски, необходимо нарастить их на толщину слоя 1,5…2 мм.

Подобное наращивание производят электродуговой металлизацией обычным режимом, с использованием либо стальной, либо алюминиевой проволоки. После растачивают деталь на вертикально-расточном станке и хонингуют на хонинговальном станке. Затем на токарно-винторезном станке осуществляют механическую обработку наружных поверхностей гильз.

Вид восстанавливаемой гильзы цилиндра в процессе термоупругопластического деформирования показан на рисунке 4.

Рисунок 4 – Вид восстанавливаемой гильзы цилиндра
в процессе термоупругопластического деформирования

Подводя итог, можно сказать, что рассмотренный метод восстановления и упрочнения внутренних цилиндрических поверхностей путём создания температурного градиента вдоль оси детали может успешно применяться на предприятиях по ремонту изношенных деталей, а также на машиностроительных заводах для устранения брака при изготовлении изделий.

Список использованных источников

1. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве : Учебник / [Курчаткин В.В., Тараторкин В.М., Батищев А.Н. и др.]; под ред. В.В. Курчаткина. – М. : Академия, 2013. – 458 с.

2. Технология ремонта машин и оборудования; под ред. И.С. Левитского. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Колос, 2005. – 562 с.

3. Ремонт дорожных машин, автомобилей и тракторов : Учебник / [Б.С. Васильев, Б.П. Долгополов, Г.Н. Доценко и др.]; под ред. В.А. Зорина – 8-е изд. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 512 с.

**Abstract.** The cylinder liner is a metal part inside which the working cycle takes place – compression of the fuel–air mixture and expansion of gases, as a result of which the piston moves. The sleeve is the most loaded part of the engine, since the piston presses on it with great force during its operation. Therefore, the smooth operation of the engine depends on the quality of the cylinder liner repair.

УДК 629.113

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОКАЗАНИЙ БОКОВОГО УСКОРЕНИЯ БЛОКА КАК ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

**Кривцов С.Н.,** доктор технических наук, профессор;
**Деньгин И.Д.**, аспирант
*УО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск, Российская Федерация*

***Аннотация.*** *В данной статье приведен анализ процесса формирования бокового ускорения блока, а также результаты экспериментального исследования о возможности использования пока-*

*заний бокового ускорения блока как диагностических данных. Рассмотрено влияние места установки акселерометра на получаемые данные о боковом ускорении.*

**Введение.** Основным типом силовых агрегатов автомобилей коммерческого сектора является дизельный двигатель. Такой тип двигателя экономичен, а оснащённые им автомобили успешно эксплуатируются во всех климатических зонах страны. Для реализации высоких экологических требований автомобильные дизели оснащаются современными высокоточными системами топливоподачи. Данные типы двигателей оборудованы современной системой самодиагностики, однако она является недостаточно совершенной, особенно для транспортных средств отечественного производства. В результате эксплуатация транспортных средств недостаточно эффективна. По мере увеличения наработки (пробега автомобиля) техническое состояние цилиндров двигателя может ухудшаться, в связи с чем, необходим его систематический контроль [1].

При этом большой интерес вызывают способы экспресс диагностирования двигателей внутреннего сгорания, дополняющие возможности бортовой самодиагностики. На кафедре «Автомобильный транспорт» ФГБОУ ВО ИРНИТУ разрабатывается метод диагностирования автомобильного двигателя на основе анализа бокового ускорения блока, вызванного реактивным моментом. Он достаточно легко реализуем в условиях автотранспортных предприятий для контроля равномерности работы цилиндров и отражает их общее техническое состояние.

**Теоретические предпосылки.** Рассмотрим процесс формирования бокового ускорения блока цилиндров двигателя при его работе. Для этого составим расчетную схему сил и моментов, действующих на блок цилиндров (рисунок 1).

Основными силами считаются силы давления газов; силы, направленные вдоль оси шатуна; силы инерции; силы, действующие на поршень и боковая сила, действующая на стенку цилиндров [2]. Все силы, действующие в двигателе, изменяются как по углу поворота, так и по времени.

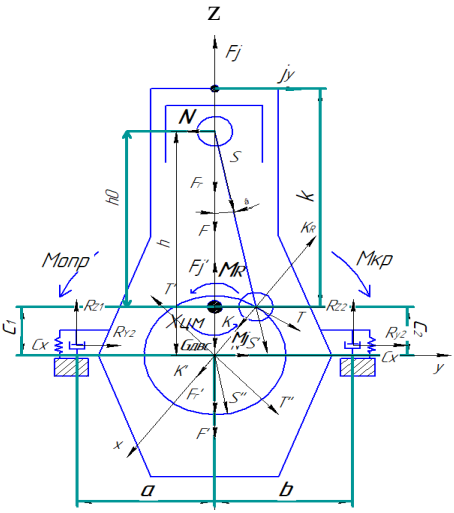



Рисунок 1 – Расчетная схема углового ускорения блока.

Основной силой, формирующей боковое ускорение, является боковая сила, направленная перпендикулярно движению поршня [2,3]:

$$N = F \cdot tg\beta \tag{1}$$

где: $F$ – суммарная сила, приложенная к оси поршневого пальца.

Крутящий момент на коленчатом валу формируется следующим образом [2,3]:

$$M_{кр} = FR\frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos\beta} \tag{2}$$

где: $R$ – радиус кривошипа, $\varphi$ – угол поворота кривошипа, отсчитываемый от направления оси цилиндра в сторону вращения коленчатого вала, $\beta$ – угол отклонения оси шатуна в плоскости его качения в сторону от направления оси цилиндра.

В свою очередь, благодаря действию нормальной (боковой) силы $N$ возникает опрокидывающий момент, направленный противоположно крутящему:

$$M_{опр} = Nh + F\alpha \tag{3}$$

где: $N$ – боковая сила,α – величина дезаксиала, h – плечо силы «N».

На формирование бокового ускорения двигателя также оказывают влияние реакции, возникающие в опорах двигателя: $R_{z1}$;$R_{z2}$;$R_{x1}$;$R_{x2}$ под действием силы тяжести и моментов возникающих в двигателе.

В дальнейшем производим вычисление суммы моментов формирующих боковое ускорение блока (величиной дезаксиала пренебрегли):

$$\sum M_{Xцм} = N \cdot h_0 + R_{z2} \cdot b + R_{y2} \cdot c_2 + R_{y1} \cdot c_1 - R_{z1} \cdot a - J\varepsilon \qquad (4)$$

где: $h_0$ – плечо силы «N» от центра масс.

Следовательно, угловое ускорение блока цилиндров двигателя при колебании блока цилиндров относительно центра масс может быть найдено следующим образом:

$$\varepsilon = \frac{1}{J}(N \cdot h_0 + R_{z2} \cdot b + R_{y2} \cdot c_2 + R_{y1} \cdot c_1 - R_{z1} \cdot a) \qquad (5)$$

В свою очередь линейное боковое ускорение блока можно определить следующим образом:

$$j_y = \varepsilon \cdot k \qquad (6)$$

В качестве примера, рассмотрим один из самых распространенных типов двигателя – четырехцилиндровый рядной компоновки с расстановкой действующих сил и моментов в виде схемы (рисунок 2).

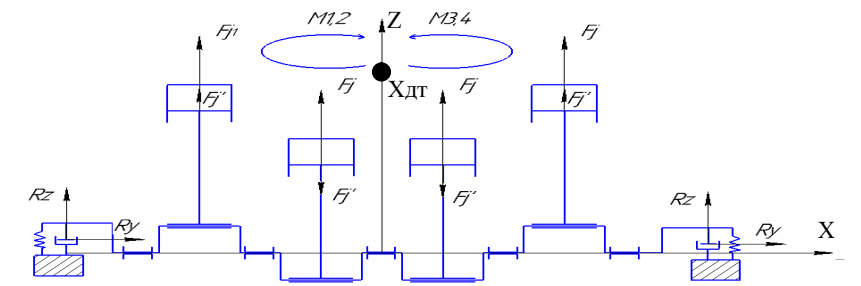



Рисунок 2 – Схема расстановки действующих сил и моментов исследуемого двигателя

Для данного типа силовой установки в плоскости *XZ* силы инерции первого порядка и их моменты полностью уравновешиваются $M_{i\,I} = 0$, силы инерции второго порядка для всех цилиндров равны,

направлены в одну сторону и зависят от частоты вращения коленчатого вала, а их моменты так же равны 0 [3].

Таким образом, опираясь на теоретические предпосылки, можно сделать вывод о том, что место установки датчика для измерения боковых ускорений блока цилиндров с целью его диагностирования имеет влияние на получаемые при этом результаты.

**Материалы и методы.** Для измерения боковых ускорений блока цилиндров был разработан приборный комплекс, содержащий трехкоординатный акселерометр, аналого-цифровой преобразователь и ноутбук. Его структурная схема изображена на рисунке 3.

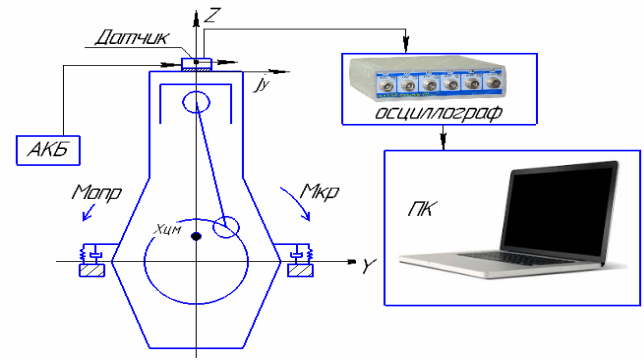



Рисунок 3 – Структурная схема измерительного комплекса

При проведении эксперимента акселерометр устанавливался на клапанную крышку двигателяв верхней его части. При этом измерялись ускорения в трёх плоскостях *X,Y,Z*, а положение датчика менялось, т.е. он устанавливался со стороны шкива, маховика и в плоскости расположения опор двигателя.

**Результаты и обсуждения.** По результатам проведения экспериментальных исследований были получены графики зависимостей бокового ускорения блока от угла поворота коленчатого вала, представленные на рисунках 4 и 5. Они получены для одной и той же точки размещения на клапанной крышке, но с разворотом на $180^0$. Эксперименты проводились на полностью прогретом двигателе.

Рисунок 4 – График зависимости боковых ускорений блока цилиндров двигателя D4CB при работе на холостом ходу по углу поворота коленчатого вала.

Рисунок 5 – График зависимости боковых ускорений блока цилиндров двигателя D4CB при работе на холостом ходу по углу поворота коленчатого вала. (при развороте датчика на 180)

Анализ представленных зависимостей, позволяет сделать вывод о том, что полученные графики практически зеркальны. Правильным направлением установки, на наш взгляд является то, при котором данные отображаются, как показано на рисунке 4. Поскольку в соответствии с теоретическими предпосылками эта графическая зависимость качественно схожа с формируемым крутящим моментом двигателя.

Расположение акселерометра в двух крайних точках и по центру позволило получить следующие зависимости (рисунок 6):

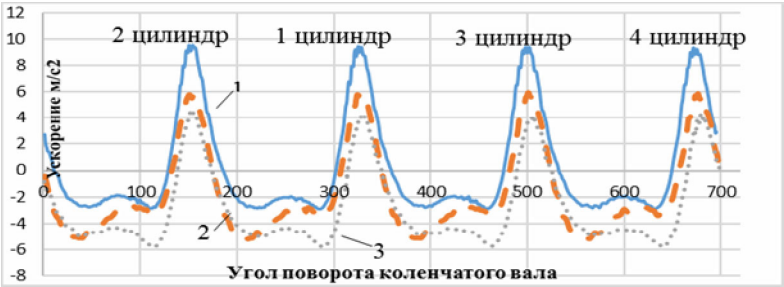



Рисунок 6 – График зависимости боковых ускорений блока цилиндров двигателя D4CB при работе на холостом ходу по углу поворота коленчатого вала.
1 – установка датчика по центру; 2 – установка датчика со смещением к шкиву; 3 – установка датчика со смещением к маховику

Анализ графических данных позволяет сделать вывод о влиянии места установки на результаты. В связи с этим, нами установлено, что наиболее рациональное положение датчика в районе опор двигателя, т.е. в центре. При этом, моменты, стремящиеся повернуть блок цилиндров в плоскости *XY* оказывают наименьшее воздействие на результаты диагностирования.

**Заключение.** Проведенные экспериментальные и теоретические исследования процесса формирования боковых ускорений блока цилиндров двигателя позволили заключить, что:

- изменение сил и моментов по углу поворота коленчатого вала приводят к возникновению реактивного момента, передающего усилия на опоры двигателя, который, в свою очередь, зависит от величины боковых (нормальных сил);
- значения боковых ускорений качественно отражают информацию о равномерности работы цилиндров двигателя и могут быть использованы при диагностировании;
- для получения достоверных данных необходимо правильно располагать акселерометр относительно блока цилиндров, при этом он должен быть установлен в плоскости расположения опор двигателя.

Список использованных источников

1. Кривцов С.Н. Методологические основы рационального применения методов диагностики автомобилей с дизельным двигателем и аккумуляторной топливоподающей системой в технологических про-

цессах их технического обслуживания и ремонта / Кривцов С.Н., Зедгенизов В.Г. // Вестник ИрГТУ №4, 2017. С. 176–187.

2. Шатров М.Г. Автомобильные двигатели / М.Г. Шатров, И.В. Алексеев, К.А. Морозов и др.; под ред. М.Г. Шатрова. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 464 с.

3. Колчин А.И., Расчет автомобильных и тракторных двигателей. М: Машиностроение, 2008. – 276 с.

УДК 629.3.015

**Домнышев Д.А.,** кандидат технических наук, доцент;
**Тихоновский В.В.,** кандидат технических наук, доцент;
**Курносов А.Ф.,** кандидат технических наук, доцент;
**Долгушин А.А.,** доктор технических наук, доцент;
**Сацкевич Н.Е.,** аспирант; **Бультроков И.В.,** магистрант;
**Домнышева В.В.,** аспирант; **Епишев Р.Е.,** студент;
**Иванов Л.В.,** студент
*ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», г. Новосибирски, Российская Федерация*

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОГО ЗАПУСКА ДВИГАТЕЛЯ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ПРЕДПУСКОВОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ 18ЖД24

***Аннотация.*** *В изложеном материале статьи рассмотрен способ обеспечения надежного запуска двигателя грузового автомобиля КамАЗ 65115 при низких температурах при использовании теплоты отработавших газов штатного предпускового подогревателя 18ЖД24. Представленый в результатах анализ позволил установить, что предрусковые свойства при низких температурах эксплуатации дизельного двигателя автомобиля КамАЗ 65115 улучшились за счет сокращения времени подготовки без изменения конструкции штатного картера системы смазки при подаче отработанных газов предпускового подогревателя через маслозаливную горловину и отвод их через канал сброса давления системы смазки. Это*

*позволило скоратить время работы штатного предпускового обогревателя до достижения необходимой минимальной температуры на 24 %, а также увеличить температуру масла в картере системы смазки на 64 % в сравнении с температурой, достигайемой при использовании предпусквого подогревателя в штатном режиме работы.*

Автомобильные транспортные средства, предназначенные для условий эксплуатации в Российской федерации, должны сохранять свою работоспособность во всём диапазоне температур окружающей среды, ограниченном только предельными значениями рабочих температур по ГОСТ 15150 для существующего климатического исполнения [5]. При этом в соответсвии с пунктом 4.2.2.1 предельная температура надежного пуска двигателя при использовании специальных средств его облегчения и систем предпускового подогрева должна быть не более минус 60 °С для холодных климатических районов, умеренно холодных климатических – районов минус 45 °С, а время подготовки двигателя к принятию нагрузки при предельной температуре надежного пуска составлять от 45 до 36 минут в аналогичных климатических районах.

В грузовых автомобилях КамАЗ 65115 и других модификации при температурном режиме ниже минус 15°С возникает проблема запуска двигателя [3]. Для этого заводом изготовителем штатно устаналивается предпусковой подогреватель, например, 18ЖД24. Подогреватель предназначен для предпускового разогрева двигателя внутреннего сгорания с жидкостной системой охлаждения, а также автоматического поддержания оптимального теплового режима двигателя и интенсисфикации системы отопления кабины. Источником тепла являются газы, полученные от сгорания топливной смеси в камере сгорания. Горячие газы, двигаясь между ребрами внутри теплообменника, нагревают его, а охлаждающая жидкость, которая омывает теплообменник с наружной стороны, нагревается и уносит это тепло в систему охлаждения. Отработанные газы выбрасываются в атмосферу через спецальный патрубок.

При снижении температуры окружающей среды ниже отметки минус 25 °С предпусковой подготовки системы охлаждения бывает

недостаточно, так как система охлаждения разогревается с помощью предрускового подогревателя, а система смазки не получает никакого теплового воздействия и остается практически с неизменной температурой. Коленчатый вал в своих постелях зафиксирован вкладышами и тончайшей пленкой масла, которая в свою при снижении его температуры меняет вязкость и увеличивает сопротивление проворачиванию стартером. Следовательно, существует необходимость предпусковой подготовки не только системы охлаждения, но и системы смазки. В связи с этим с целью работы является разработка комплекса мер по предпусковому разогреву системы смазки двигателя за счет теплоты отработанных газов штатного предпусковой подогревателя.

Существую различные различные технические решения, обеспечивающие предпусковой подогрев моторного масла двигателя внутреннего сгорания (RU 21369905, 11.08.1998. RU 2140010, 19.05.1998. RU 2006598 C1, 30.01.94. US 1751859 A, 25.03.30. US 4815431 A, 28.03.89.). Технической задачей предлагаемых решений является использование предпускового для подогрева моторного масла тепловой энергии от различных источников. В качестве теплоносителя используется тепловая энергия отработавших газов жидкостных подогревателей, тепловая энергия охлаждающей жидкости, электрическая энергия и т.д. [4]. Однако в представленных вариантах недостаточно эффективно используется тепловая энергия, так как нагрев масла осуществляется теплоносителем через металлическую стенку, на что дополнительно затрачивается тепловая энергия и увеличивается время нагрева.

Первым этапом исследований было исследование теплового потенциала выхлопных газов штатного предпускового подогревателя 18ЖД24 [1,2], установленного на автомобиль КамАЗ 65115, а также определение времени нагрева системы охлаждения для обеспечения пуска при низких температурах окружающей среды. Для этого автомобиль КамАЗ 65115 был помещен на открытую стоянку после чего при низких температурах эксплуатации находился без тепловой подготовки более 48 часов. Далее предпусковым подогревателем 18ЖД24 осуществлялась подготовка двигателя к запуску и определялось время его работы до момента достижения необходимой температуры. При помощи тепловизионного снимка определяли температуру системы

охлаждения и системы выпуска отработанных газов подогревателя, а также обрабатывались термограммы полученных снимков.

В ходе предварительного эксперимента было установлено, что при температуре окружающей минус 30 °С время предпусковой подготовки охлаждающе жидкости до плюс 40 °С (рисунок 1) составляет 33 минуты, а температура выхлопных газов равнялась в среднем плюс 150–200 °С.

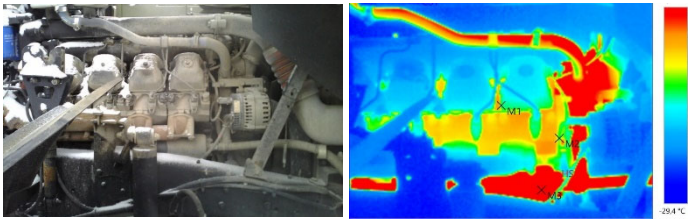



Рисунок 1 – Тепловизионный снимок интенсивности нагрева системы охлаждения при помощи предпускового нагревателя 18ЖД24

Однако, при замере температуры моторного масла его температура все так же была около минус 29 °С (рисунок 2). Так же было замечено, что запуск двигателя был осуществлен не с первой попытки, так как возникали трудности при его прокручивании стартером.

Рисунок 2 – Тепловизионный снимок картера системы смазки двигателя КамАЗ 65115

Для подогрева системы смазки параллельно с системой охлаждения предложено устройство для предпускового подогрева моторного масла (патент № RU2009145397/22U), однако нами предложена схема без изменения конструкции штатного картера системы смазки, а подача отработанных газов через маслозаливную горловину и отвод их через канал сброса давления системы смазки.

Предложенная схема работает следующим образом: в крышке маслозаливной горловины установлена быстросъемная муфта для подвода отработанных газов от штатного предпускового нагревателя 18ЖД24. Далее проводили активацию нагревателя и установка времени нагрева до минимально необходимой. Отработанные газы устрамляются через масляные каналы в картер системы смазки, нарегвая тем самым поверхность моторного масла и элементы кривошипно-шатунного механизма, а также стенки блока и постели коренных вкладышей.

По результатам исследований отмечено, что при работе предпускового нагревателя при подаче отработанных газов в систему смазки при температуре окружающей минус 30 °С время предпусковой подготовки охлаждающе жидкости до плюс 40 °С составило 25 минут. При этом при замере температуры поддона картера системы смазки температура его стенок в среднем равнялась минус 10 °С, а также при запуске автомобиля не возникало никаких трудностей при прокручивании стартером двигателя.

Подведя итог исследования, можно сделать вывод, что тепловой потенциал штатного предпускового пологревателя 18ЖД24 автомобиля КамАЗ 65115 используется не в полном объеме. Отвод выхлопных газов осуществляется в атмосферу с их высокой температурой, что дает возможность их дополнительного использвания к примеру, для разогрева системы смазки двигателя. Для этого через специальную трубу предложено подвести в малозаливную горловину отработанные газы от предпускового подогревателя, а их отвод осуществляется через канал сброса давления системы смазки. При использовании современного тепловизионного оборудования и программного обеспечения по обработке термограмм удалось установить, что общее время нагрева системы охлаждения совместно с предложенным методом позволил сократить время работы штатного предпускового обогревателя до достижения минимальной температуры с 33 до 25 минут. Так же одним из положительных эффектов можно считать разогрев масла в картере с минус 29 °С до минус 10 °С, что в целом обеспечивает надежный запуск двигателя автомобиля при низких температурах эксплуатации.

Список использованных источников

1. Курносов А.Ф. Рекуперация теплоты отработавших газов двигателя автомобиля / Долгушин А.А., Воронин Д.М., Гуськов Ю.А., // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 8. С. 87–90.

2. Айснер Н.С. Анализ способов предпускового подогрева двигателей внутреннего сгорания / Гулевич Д.В., Курносов А.Ф. // В сборнике: Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования. Материалы VIII региональной научно-практической конференции студентов и аспирантов, посвященной 80-летию НГАУ-НСХИ. Новосибирский государственный аграрный университет. 2016. С. 163–166.

3. Курносов А.Ф. Анализ способов интенсификации послепускового прогрева автотракторных двигателей / Долгушин А.А., // В сборнике: Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования. Материалы VIII региональной научно-практической конференции студентов и аспирантов, посвященной 80-летию НГАУ-НСХИ. Новосибирский государственный аграрный университет. 2016. С. 197–201.

4. Пат. № RU 92477 U1 РФ, МПК F01M 5/02(2006.01). Устройство для предпускового подогрева моторного масла двигателей внутреннего сгорания / Иванов Виктор Иванович, Дзюбин Денис Вячеславович, Чебоксаров Алексей Николаевич; № 2015107608/11; заявл. 2009145397/22, 2009.12.07; опубл. 20.03.2010.

5. ГОСТ 15150 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.

**Abstract.** In the presented material of the article, a method is considered to ensure reliable engine start of the KAMAZ 65115 truck at low temperatures when using the heat of the exhaust gases of the standard preheater 18ZHD24. The analysis presented in the results allowed us to establish that the pre-launch properties at low operating temperatures of the KAMAZ 65115 diesel engine improved by reducing the preparation time without changing the design of the standard crankcase of the lubrication system when the exhaust gases of the pre-heater are fed through the oil filler neck and their discharge through the pressure relief channel of the lubrication system. This made it possible to shorten the operating time of the standard pre-heater to reach the required minimum temperature by 24 %, as well as to increase the oil temperature in the crankcase of the lubrication system by 64 % compared to the temperature reached when using the pre-heater in normal operation.

УДК 621.77.04

**Толочко Н.К.**, доктор физико-математических наук, профессор,
**Авраменко П.В.**, кандидат технических наук, доцент,
**Кравцов В.Б.**
*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск. Республика Беларусь*

# ИЗГОТОВЛЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ФОРМООБРАЗУЮЩЕЙ ОСНАСТКИ С ПОМОЩЬЮ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

***Аннотация***. *Обсуждены особенности аддитивного изготовления металлических деталей машин и формообразующей оснастки. Рассмотрены основные направления деятельности БГАТУ по применению аддитивной технологии листового ламинирования при производстве сельхозтехники.*

В последние годы в машиностроениипоучают все более широкое распространение аддитивные технологии (АМ-технологии – от англ. AdditiveManufacturing). Их применяют при создании различных деталей машин. При этом с их помощью изготавливают как готовые детали, так и формообразующую оснастку, которую затем используют для получения деталей обычными способами.

Особый практический интерес представляют такие АМ-технологии, которые позволяют создавать и готовые детали, и формообразующую оснастку непосредственно из металлов. На сегодняшний день известно всего лишь два типа таких АМ-технологий, несмотря на их большое разнообразие в целом. Это – металлопорошковые (MetalPowder, MP) АМ-технологии (MP-AM-технологии) и технологии листового ламинирования (SheetLamination, SL), основанные на использовании листовых металлов (Metal, M) в качестве исходных заготовок (MSL-AM-технологии).

В начале 2022 г. в России, а также в Беларуси возросло внимание к использованию АМ-технологий как к одному из возможных путей решения проблем, вызванных санкционной политикой США, стран Евросоюза и рядадругих стран и связанных с ограничениями зарубежных поставок комплектующих деталей для производства

машин, и запасных деталей для ремонта машин. Особенно ощутимый характер эти проблемы приобрели в России, где в связи с этим наблюдается заметная активизация деятельности по более широкому применению АМ-технологий для производственных и ремонтных нужд [1] и по усиленной подготовке специалистов для работы в сфере АМ-технологий [2]. Решение этих проблем осложняется тем, что Россия выпускает сравнительно небольшое количество АМ-оборудования. Так, на российском рынке 3D-принтеров, печатающих по МР-АМ-технологиям, имеется около 200 единиц оборудования, из которых 80% поставлено из-за рубежа – из США, Европы (в основном Германии), КНР, Японии и других стран, 20 % – отечественного производства [1]. Некоторые страны в рамках запрета на экспорт в Россию высокотехнологичного оборудования сократили поставки 3D-принтеров, например, Япония прекратила поставлять не только МР-3D-принтеры, но также используемые для 3D-печати металлические порошки [3]. Как следствие, возникает необходимость ускоренного расширения выпуска на российских предприятиях АМ-оборудования и исходных АМ-материалов.

Дадим сравнительную характеристику указанных выше типов АМ-технологий, позволяющих создавать готовые детали и формообразующую оснастку непосредственно из металлов.

К МР-АМ-технологиям относятся Selective Laser Melting (SLM) и Electron Beam Melting (EBM) (изделия создают послойным нанесением металлического порошка на рабочую платформу и его селективным сплавлением лазерным или электронным лучом), а также Laser Engineered NetShape (LENS) и Laser Metal Deposition (LMD) (изделия создают подачей металлического порошка непосредственно к месту построения, где происходит его лазерная наплавка).

МР-АМ-технологии позволяют создавать изделия сложной геометрии с довольно высокой точностью и разрешающей способностью построения, а также качеством поверхности. Главный их недостаток – высокая стоимость МР-3D-принтеров [4]. Так, большинство 3D-принтеров SLM- и LENS-типов стоят более 500 тыс. долл. США. Их стоимость заметно растет с увеличением размеров зоны построения и доходит до 1 млн. долл. США и более. Этим объясняется тот факт, что на сегодняшний день у многих МР-3D-принтеров размеры зоны построения довольно малы, что не позволяет их

применять для изготовления крупногабаритных деталей. Еще один их недостаток – высокая стоимость металлических порошков: для нержавеющих сталей – 300, для сплавов Инконель – 400, для титановых сплавов – 500 (в долл. США на 1 кг) [4].

Высокая стоимость МР-3D-принтеров сдерживает их приобретение предприятиями для производственных нужд. С другой стороны, высокая стоимость МР-3D-принтеров и металлических порошков отражаются на стоимости производимых изделий, спрос на которые оказывается ограниченным из-за их высокой цены.

Также недостатком этих технологий является присущая им особенность послойного построения изделий, заключающаяся в том, что каждый наращиваемый порошковый слой обычно формируется построчно лазерным или электронным лучом, вследствие чего ограничивается производительность процесса построения изделий.

MSL-AM-технология имеет три разных вида: «пакетирование – резка – соединение» («stack–cut–bond», SCB); «пакетирование – соединение–резка» («stack–bond–cut», SBC); «резка – пакетирование – соединение» («cut–stack–bond», CSB) [5]. Примеры реализации разных вариантов SCB-SL-AM-технологии даны ниже.

Вариант SCB–Solder: металлические листы поочередно пакетируют и разрезают лазером, листовые выкройки покрывают слоем паяльной пасты, затем стопку выкроек сжимают и нагревают, в результате чего между выкройками создается паяное соединение.

Вариант SCB–D–Weld: металлические листы поочередно пакетируют и разрезают лазером, выкройки соединяют диффузионной сваркой, для чего стопку выкроек прессуют в печи.

Вариант SBC–Glue: металлические листы, покрытые слоем термоактивируемого клея, поочередно пакетируют и склеивают, после чего разрезают лазером (эта технология известна под названием Laminated Object Manufacturing – LOM).

Вариант SBC–US–Weld: металлические листы поочередно пакетируют и селективно сваривают ультразвуком, после чего разрезают фрезой (эта технология известна под названием Ultrasonic Additive Manufacturing – UAM).

Вариант CSB–Screw: из металлических листов лазером или фрезой вырезают выкройки с отверстиями для фиксации и крепления, затем выкройки пакетируют и стягивают болтами.

Построение по схемам SCB и SBC ведется автоматизировано с помощью SL-3D-принтеров, в которых в силу особенностей их ра-

боты в качестве исходного строительного материала используется тонкая металлическая фольга (как правило, в рулонах).

Так как в случае схем SCB и SBC листы подвергаются резке, когда они уже уложены в стопку, то во время резки проводится не только контурный раскрой листов, но и разделение их неиспользованной части на фрагменты, что позволяет после завершения построения удалить отходы металла и тем самым обеспечить беспрепятственное снятие построенной детали с рабочей платформы.

При построении по схеме CSB в качестве исходного материала используются дискретные металлические листы, которые кроят с помощью лазерных или фрезерных раскроечных станков. Последующее пакетирование листовых выкроек и их болтовое соединение трудно поддаются автоматизации, поэтому обычно эти операции выполняют вручную. Листы, используемые при построении по схеме CSB, в силу особенностей обращения с ними должны обладать определенной жесткостью, поэтому их толщина, как правило, значительно больше, чем у металлической фольги.

При построении по схеме CSB имеется возможность более рационально расходовать листовой металл благодаря тому, что при его раскрое можно делать компактную компоновку выкроек, так что отходы металла предельно минимизируются, чего нельзя обеспечить при построении по схемам SCB и SBC.

Изготовление изделий из металла по SL-технологии при определенных условиях может быть экономически более выгодным, чем по другим AM-технологиям. Наиболее значительный экономический эффект применения SL-технологии может быть достигнут в том случае, когда построение изделий идет по схеме CSB. Поэтому представляет практический интерес дальнейшее совершенствование SL-технологии прямого изготовления металлических изделий и прежде всего тех его вариантов, которые предусматривают построение изделий по схеме CSB.

CSB-SL-технология по сравнению с МП-AM-технологиями характеризуется более низкой точностью, разрешающей способностью, сложностью геометрии и качеством поверхности создаваемых изделий. Вместе с тем она имеет такие преимущества, как:

- более низкая стоимость изготовления изделий, поскольку не требуются дорогие 3D-принтеры и металлические порошки, как в МП-AM-технологиях;

- более высокая производительность, поскольку изделие наращивается сразу же готовыми слоями (листовыми выкройками), в отличие от МП-АМ-технологий, когда каждый наращиваемый слой формируется построчно лазерным или электронным лучом;

- возможность создавать изделия больших размеров, например, 1-2 м и более, которые ограничиваются лишь размерами раскройного стола лазерного станка для резки листовых металлов, в отличие от МП-АМ-технологий, для которых размеры рабочей зоны МП-3D-принтеров довольно малы;

- доступность оборудования и материалов – лазерные станки для резки листовых металлов и листовые металлы повсеместно широко распространены, в то время как МП-3D-принтеры из-за высокой стоимости до сих пор являются большой редкостью.

В последнее время вопросы изготовления металлических изделий с помощью CSB-SL-AM-технологии являются предметом повышенного внимания в БГАТУ. Как отмечалось выше, CSB-SL-AM-технология включает следующие операции: контурный раскрой листового металла, пакетирование полученных листовых выкроек в стопку и их соединение между собой. Раскрой листового металла проводится с помощью лазерного станка LaserCUT-1515-6-2-N-RT (Рухсервомотор, РБ), листовые выкройки соединяются обычно клеем или болтами.

В 2022 г. в БГАТУ начали проводиться научные исследования и технические разработки в области изготовления деталей сельхозтехники с помощью CSB-SL-AM-технологии совместно с Минским заводом шестерен (МЗШ) в рамках Договора о сотрудничестве. Планируются вести работы в двух основных направлениях: 1) изготовление готовых деталей – шестерни, грядили плуга и 2) изготовление формообразующей оснастки – штамповая оснастка для получения листовой штамповкой отвалов предплужника и плуга (в том числе сменных сегментов перьевых отвалов), а также дисковых ножей плуга.

В рамках выполняемых работ предполагается изучить принципиальные возможности и технико-экономическую эффективность использования CSB-SL-AM-технологии для изготовления указанных видов изделий, а именно: шестерен и грядилей, а также формообразующих элементов штамповой оснастки (матрицы и пуансона), которые будут обладать разной конфигурацией, а также слоистой

(многолистовой) конструкцией, характеризующейся уменьшенной массой за счет топологической оптимизации конструкции.

Список использованных источников

1. Металлургия в 3D. Что изменят санкции для аддитивных технологий. 2022. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.prometall.info/know-how/metallurgiya_v_3d. – Дата доступа: 28.09.2022.

2. ДВФУ запускает обучение специалистов в области аддитивных технологий. 2022. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/dvfu-zapuskaet-obucenie-specialistov-v-oblasti-additivnyx-texnologii. – Дата доступа: 28.09.2022.

3. Япония запретит экспорт в Россию 3D-принтеров и высокотехнологичного оборудования. 2022. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.vedomosti.ru/politics/news/2022/05/13/921878-yaponiya-s-20-maya-zapretit-eksport-v-rossiyu-3d-printerov-i-visokotehnologichnogo-oborudovaniya. – Дата доступа: 28.09.2022.

4. Прямое изготовление металлических деталей с помощью аддитивной технологии листового ламинирования / Н.К. Толочко, Н.Н. Романюк, П.В. Авраменко, О.В. Сокол // Перспективы развития аддитивных технологий в Республике Беларусь: сб. докл. Междунар. науч.-практ. симп. (Минск, 29 сент. 2021 г.) / Нац. акад. наук Беларуси, ГНПО порошковой металлургии ; редкол.: А.Ф. Ильющенко (гл. ред.) [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2021. – С. 208–218.

5. Толочко, Н.К. Методологические аспекты оценки эффективности аддитивной технологии листового ламинирования / Н.К. Толочко, О.В. Сокол // Вестник машиностроения. – 2020. – №10. – С. 11–15.

**Abstract**.The features of additive manufacturing of metal parts of machines and forming tools are discussed. The main directions of activity of BSATU on the use of sheet lamination additive technology in the production of agricultural machinery are considered.

УДК 621.436:681.518.54

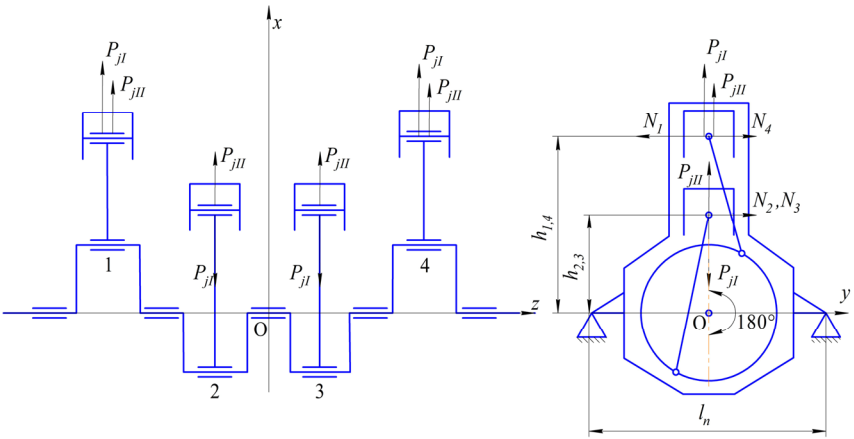
**Курносов А.Ф.,** кандидат технических наук;
**Гуськов Ю.А.,** доктор технических наук, доцент
*ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», г. Новосибирск, Российская федерация*

# ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ РАБОТЫ ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЯ В РЕЖИМЕ ХОЛОСТОГО ХОДА НА ВЕЛИЧИНУ РЕАКЦИЙ ОПОР

**Аннотация.** Экспериментально изучена динамика процесса формирования реакций опор двигателя при работе с последовательным отключением цилиндров в режиме холостого хода. Установлено, что величина реакций опор двигателя увеличивается при разгерметизации цилиндров. Это объясняется отсутствием положительных и отрицательных боковых сил на тактах сжатия неработающих цилиндров, что приводит к большему проявлению инерционных сил. Проведенные исследования положены в основу способа оценки неравномерности работы цилиндров в режиме холостого хода, который позволяет оперативно оценить работоспособность каждого цилиндра отдельно и двигателя в целом.

Известны методы определения неравномерности работы цилиндров двигателя, основанные на оценке изменения мгновенной внутрицикловой скорости вращения коленчатого вала, вызванной работой того или иного цилиндра в режиме динамической загрузки двигателя [1–4]. Данные методы достаточно просты в реализации и не требуют существенных затрат. Недостатком методов является невозможность оценить неравномерность работы цилиндров двигателя при стационарной загрузке.

Известно, что крутящий момент двигателя образуется за счет совокупного действия в кривошипно-шатунном механизме разнонаправленных и разновеликих сил. Каждый цилиндр двигателя в некоторый момент времени действует на коленчатый вал, вызывая его вращение, и на стенки цилиндра, вызывая колебания блока двигателя (рисунок 1).




$P_{jI}$, $P_{jII}$ – силы инерции соответственно первого и второго порядков, Н;

$N_1, N_2, N_3, N_4$, – боковые силы, действующие на стенки соответственно 1, 2, 3 и 4-го цилиндров, Н; $h_{1,4}$, $h_{2.3}$ – расстояния от оси поршневых пальцев 1 и 4-го, а также 2 и 3-го цилиндров до оси вращения коленчатого вала, м; $l_n$ – расстояние от оси вращения коленчатого вала до точки измерения силы на n-й опоре, м;
$M_e$ – эффективный крутящий момент двигателя, Н·м;
$M_R$ – реактивный крутящий момент двигателя, Н·м.
Рисунок 1 – Схема сил и крутящих моментов, действующих в кривошипно-шатунном механизме четырехцилиндрового двигателя

Совокупное действие сгорающих газов и сил инерции $P_{jI}, P_{jII}$ приводит к образованию боковых сил $N_1, N_2, N_3, N_4$ и результирующего реактивного крутящего момента относительно оси вращения коленчатого вала, действие которого уравновешивается реакциями опор [5]:

$$F_j = \sum_{i=1}^{4} k_{in} N_i \; ; \qquad (1)$$

$$k_{in} = \frac{h_i}{l_n} \; , \qquad (2)$$

где $N_i$ – боковая сила i-го цилиндра, Н.

$h_i$ – расстояния от оси поршневого пальца i-го цилиндра до оси вращения коленчатого вала, м.

Таким образом, изменение газодинамических процессов, протекающих в цилиндрах, вызывает неравномерность их работы, колебания эффективного крутящего момента и, соответственно, реакций опор двигателя. С учетом изложенного, неравномерность работы цилиндров двигателя возможно оценить по изменению величины реакций опор за некоторый угол поворота коленчатого вала, т.е.:

$$\frac{F_E}{\Delta\varphi} = \frac{\frac{\Delta F_{i\max}}{\Delta\varphi} - \frac{\Delta F_{i\min}}{\Delta\varphi}}{\frac{\Delta F_{i\text{СР}}}{\Delta\varphi}} \cdot 100\%, \qquad (3)$$

где $\Delta F_{i\max}$ – максимальное изменение силы $i$-го цилиндра за цикл работы, Н;

$\Delta F_{i\min}$ – минимальное изменение силы $i$-го цилиндра, за цикл работы, Н.

$\Delta\varphi$ – угол поворота коленчатого вала за период измерения реакций опор, град.

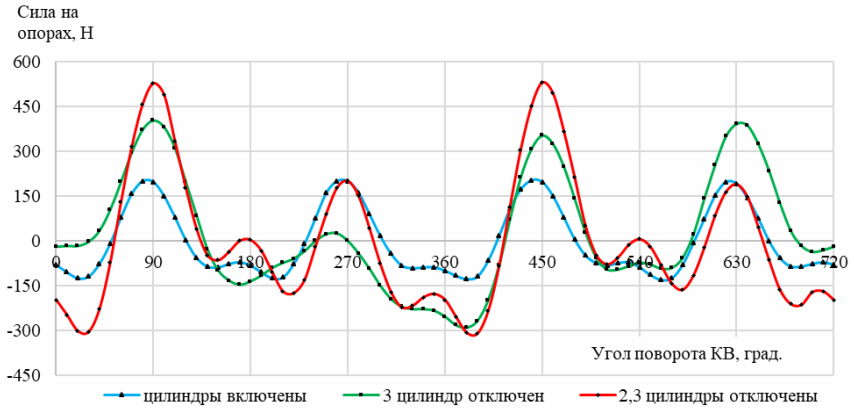



Рисунок 2 – Изменение реакций опор двигателя при работе с частью отключенных цилиндров в режиме холостого хода

Экспериментальные исследования проводились по ранее разработанной методике [5]. В процессе исследований установлено, что последовательное отключение цилиндров приводит к увеличению реакции опор (рисунок 2).

Так при равномерной работе двигателя со всеми включенными цилиндрами наблюдается цикличное изменение реакций опор с периодом 180 градусов поворота коленчатого вала. Максимальные значения реакций опор наблюдается в момент положения коленчатого вала 85 градусов поворота после мертвой точки, т.е. в момент совершения в соответствующем цилиндре такта сгорания. Минимальные значения реакций опор наблюдаются при положении коленчатого вала 25 градусов поворота коленчатого вала, т.е. в момент начала такта сгорания, когда совершена работа по сжатию газов, а положительная работа такта сгорания еще не проявилась вследствие минимального отклонения шатуна от оси цилиндра. При последовательном отключении одного и двух цилиндров цикличность изменения реакций опор нарушается, максимальные значения реакций опор достигают величин 400 и 530 Н соответственно, что объясняется увеличением цикловой подачи топлива в рабочие цилиндры для поддержания заданной частоты вращения коленчатого вала двигателя.

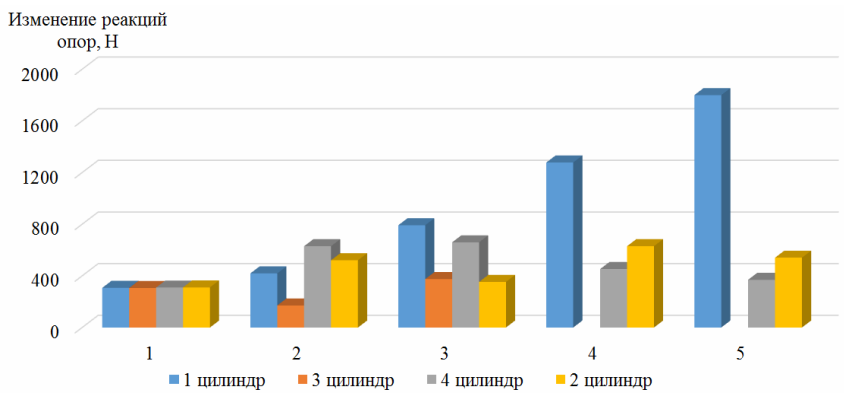



Рисунок 3 – Изменение величины реакций опор при работе двигателя с частью отключенных цилиндров в режиме холостого хода:
1 – равномерная работа двигателя на всех цилиндрах;
2 – третий цилиндр отключен; 3 – третий и второй цилиндры отключены;
4 – третий, четвертый и второй цилиндры отключены и загерметизированы;
5 – третий, четвертый и второй цилиндры отключены и разгерметизированы

Изменение величины реакций опор при работе двигателя с частью отключенных цилиндров в режиме холостого хода представ-

лено на рисунке 3. Из рисунка видно, что при увеличении числа отключенных цилиндров реакции опор увеличиваются и достигают максимального значения 1800 Н при работе двигателя на одном цилиндре и разгерметизированных остальных. Это объясняется отсутствием положительных и отрицательных боковых сил на тактах сжатия неработающих цилиндров, что приводит к большему проявлению инерционных сил. Таким образом, оценив величину реакций опор, возможно установить неравномерность работы цилиндров двигателя внутреннего сгорания. Проведенные экспериментальные исследования положены в основу способа оценки неравномерности работы цилиндров в режиме холостого хода, который позволяет оперативно оценить работоспособность каждого цилиндра отдельно и двигателя в целом.

Выводы. Работа двигателя в режиме холостого хода сопровождается формированием знакопеременных сил в кривошипно-шатунном механизме, результат действия которых приводит к образованию крутящего момента на коленчатом валу и реакций на опорах. Неравномерность работы цилиндров двигателя возможно оценить по величине реакций опор, формируемых за счет действия газодинамических процессов сгорания топлива в цилиндрах.

Список использованных источников

1. Гребенников А.С., Никитин А.В. Математическая модель внутрициклового изменения угловой скорости коленчатого вала дизеля на холостом ходу // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. № 12. С. 42–46.

2. Гребенников А.С. Диагностирование автотракторных двигателей динамическим методом. Саратов: 2002. 196 с.

3. Гребенников С.А., Федоров Д.В., Гребенников А.С. Диагностирование ДВС по показателям угловой скорости коленчатого вала // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2012. № 12. С. 64–67.

4. Панченко М.Н., Грачев В.В., Грищенко А.В. Анализ мгновенной угловой скорости коленчатого вала // Транспорт Российской Федерации. 2018. № 4. С. 59–62.

5. Курносов А.Ф., Гуськов Ю.А., Корниенко В.Н., Галынский А.А. Изменение импульсносиловой характеристики двигателя при работе с отключением цилиндров в режиме холостого хода // Технический сервис машин. 2022. Т. 60. №3(148). С. 21–33.

УДК 621.45.018.2

**Сахнов А.В.,** кандидат технических наук, доцент;
**Хихлушка А.В.,** магистрант
*ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», г. Белгород, Российская Федерация*

# РАЗРАБОТКА СТЕНДА-КАНТОВАТЕЛЯ ДЛЯ РАЗБОРКИ И СБОРКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

***Аннотация.*** *В работе предложен стенд-кантователь предназначенный для диагностирования, осмотра и ремонта, автомобильных, а также тракторных двигателей. Стенд, состоит из тележки на колесах, емкости для приема масла и поворотного механизма двигателя.*

В работе необходимо усовершенствовать работу ремонтного производства и предложить оригинальную конструкцию стенда, предназначенного для разборки и сборки двигателей внутреннего сгорания.

Повышение качества ремонта и ремонтного производства можно достичь путем совершенствования всех стадий производственного процесса ремонта составных частей машин в мастерской [1-3].

Разборочно сборочные диагностические контрольные и регулировочные виды работ составляют весьма трудоемкую и сложную часть технологического процесса ремонта машин [4-6]. Для облегчения выполняемых в ремонтном производстве работ предлагаются стенды для разборки, сборки и ремонта двигателей внутреннего сгорания

Во время контрольного осмотра двигателя из него необходимо слить масло и охлаждающую жидкость [7-9]. Существуют различные стенды-кантователи. На рисунке 1 представлен стенд-кантователь, предназначенный для диагностирования, осмотра и ремонта автомобильных, а также тракторных двигателей.

Рисунок 1 – Стент-кантователь

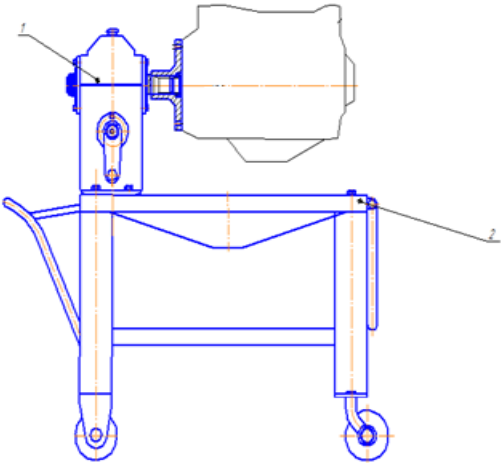
К недостаткам стенда можно отнести сложность крепления двигателя на стенд-кантователь.

По мнению М. Н. Викторова «Стенд для разборки и сборки двигателей (1698109 В 60S9/02) повысит производительность труда за счет сокращения времени на установку и снятие двигателя. Конструкция данного стенда содержит раму с опорой подъемника и приводом, на выходном валу которого закреплен фланец. Стенд, с возможностью его поворота вместе с валом, съемный фланец для крепления на двигателе с двумя фланцами и фиксированной защелкой выполнен изогнутым в нижней части для быстрого снятия и установки двигателя».

Стенд для обкатки и испытаний двигателей внутреннего сгорания (А.С. № 2107175 F02 В 79/00), содержит раму с приводом и элементы соединения фланцев, установленные в отверстия, которые выполнены во фланцах, который отличается тем, что, для повышения производительности и за счет уменьшения времени на монтаж ремонтируемого двигателя на стенд, фланец изготовленного стенда делают изогнутым в нижней части для размещения в изгибе фланца и фиксации посредством соединительных элементов, при этом фланец снабжен установленной подпружиненной защелкой для фиксации соединительных частей стенда.

Основными техническими характеристиками стендов являются грузоподъемность и способ крепления ремонтируемого агрегата.

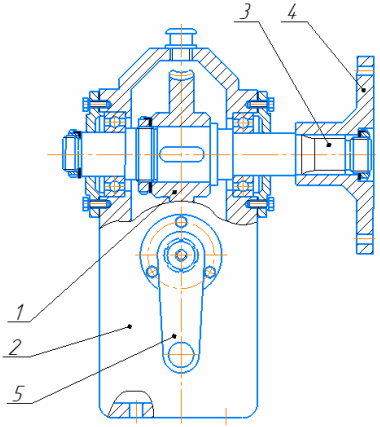
Предлагаемый в нашей работе стенд-кантователь (рисунок 2) нужен для диагностирования, осмотра и ремонта, автомобильных, а также тракторных двигателей.




1 – механизм поворота; 2 – тележка
Рисунок 2 – Стенд-кантователь для разборки и сборки двигателей

Стенд, состоящий из тележки на колесах 1, емкости для приема масла 2 и поворотного механизма двигателя 3. В механизме поворота (рисунок 3) есть червячная передача 1 установленная в корпусе 2. На валу 3 поворотного механизма у червячного колеса с помощью шлицев выполнен сменный фланец 4 для закрепления ремонтируемого двигателя 4 (рисунок 3). Привод механизма поворота (рисунок 3) осуществляется работником при помощи рукоятки 5.

Работу на стенде проводят следующим образом. Ремонтируемый двигатель, при помощи, например, кран-балки устанавливают на стенд. Двигатель крепится к фланцу 4 (рисунок 2) при помощи болтов, которые входят в зацепление с блоком. При этом с двигателя необходимо снять предварительно корзину сцепления и маховик. В работе предложен стенд для ремонта двигателя Д-245 Минского моторного завода (ММЗ), при этом вес двигателя составляет 455 кг. Этот двигатель может устанавливаться на различные машины.




1 – червячная передача; 2 – корпус; 3 – вал;
4 – фланец крепления двигателя; 5 – рукоятка
Рисунок 3 – Механизм поворота

Кроме того, этот стенд легко можно приспособить для разборки и сборки других марок двигателей тракторов и автомобилей. Доработка этого стенда будет заключаться в изготовлении фланца, через который происходит связь ремонтируемого двигателя с механизмом поворота стенда.

После закрепления ремонтного двигателя с него сливают технические жидкости. При этом отработавшее масло поступает по воронке тележки 1 (рисунок 2) в емкость, предварительно установленную под тележку.

Вращая рукоятку 5 (рисунок 3) осуществляют поворот двигателя в удобное для работы положение.

Разработанный стенд оборудован стопорами на колесах, которые предотвращают самопроизвольное перемещение тележки. Предложенный стенд можно перемещать на колесах тележки в пределах мастерской с закрепленным на нем двигателем с соблюдением правил техники безопасности.

Список использованных источников

1. Пучин, Е.А. Технология ремонта машин / Е.А. Пучин, И.Г. Голубев, В. М.Михайлов. М.: Колос С, 2007. – 425 с.

2. Стребков, С.В. Технология ремонта машин: учеб. пособие /С.В. Стребков, А.В. Сахнов-М. : ИНФРА-М, 2017. – 222 с.

3. Черепанов, С.С. Оборудование для текущего ремонта сельскохозяйственной техники / С.С. Черепанов, А.А. Афанасьев. – М.: Колос, 1991.

4. Стребков С.В. Экономическое подтверждение объективной необходимости замещения импортных запасных частей восстановлением / С.В. Стребков, А.П. Слободюк, А.В. Бондарев // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – №3 (7). – 2015 г. – С. 17–28. – ISSN 2311-9535

5. Андреев, П.А. Технический сервис в сельском хозяйстве / П.А. Андреев, В.М. Баутин. – М. Машиностроение, 1993. – 246 с.

6. Богданов, В.М. Справочное руководство по ремонту машин / В. М. Богданов. – М.: Машиностроение, 1999. – 869 с.

7. Гуревич, Д.Ф. Ремонтные мастерские совхозов и колхозов / Д.Ф. Гуревич, А.А. Цирин. – М.: Агропромиздат, 1988. – 340 с.

8. Александров, М.Г. Подъемно-транспортные машины / М.Г. Александров. – М.: Высшая школа, 1985. – 326 с.

9. Ерохин, М.Н. Детали машин и основы конструирования / М.Н. Ерохин, А.В. Карп, Е.И. Соболев и др. – М.: КолосС, 2004. – 463 с.

**Abstract.** The paper proposes a stand-tilter designed for diagnostics, inspection and repair of automobile, as well as tractor engines. The stand consists of a trolley on wheels, a container for receiving oil and a rotary engine mechanism.

УДК 629.1.06

**Федюнин П.И.,** кандидат технических наук, доцент;
**Сырбаков А.П.,** кандидат технических наук,
**Речкин С.В.**
*ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», г. Новосибирск, Российская Федерация*

# ПРЕДПУСКОВАЯ ТЕПЛОВАЯ ПОДГОТОВКА ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЖИДКОСТНЫХ ТЕПЛОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

***Аннотация.*** *В работе рассмотрены вопросы, связанные с проблемой пуска дизельных двигателей в условиях низких температур*

*окружающей среды. На основе анализа существующих способов тепловой подготовки ДВС, рассмотрены ресурсоэффективные методы предпусковой тепловой подготовки автотракторных двигателей. На базе предложенных конструктивных схем тепловых аккумуляторов проведены натурные испытания по определению их эффективных показателей.*

С постепенным освоением северных регионов Сибири возникает ряд сложностей, одна из которых – эксплуатация энергонасыщенных машин в условиях низких температур [3].

Как правило большинство автотракторной техники оснащаются дизельными двигателями, что накладывает определенные ограничения по эффективной эксплуатации машин, в том числе и по пуску дизеля при низких температурах окружающей среды. Поэтому мобильная техника, направляемые в северные регионы страны, должны быть адаптированы на работу в условиях сурового климата. Особенно актуально проявляется проблема пуска дизельных двигателей в зимний период при безгаражном хранении машин, в силу ряда причин, влияющих на условия воспламенения топливовоздушной смеси в цилиндрах холодного дизельного двигателя [1]:

- снижение пусковой частоты вращения коленчатого вала по причине роста крутящего момента сопротивления вращению коленчатого вала двигателя при увеличении вязкости моторного масла, а также вследствие уменьшения приводной мощности стартера из-за снижения емкости холодной аккумуляторной батареи;
- меньшая испаряемость топлива и ухудшение смесеобразования.

В силу данных причин, влияющих на пуск моторной установки, рекомендуется дизельный двигатель перед пуском прогреть до комфортной температуры, обеспечивающий уверенный пуск и стабильную работу основных систем и механизмов с минимальной величиной износа подвижных элементов двигателя [2].

Адаптация современной автотракторноцй техники к условиям отрицательных температур в большинстве определяется тем, как эффективно удается подвести дополнительную тепловую энергию к основным элементам и узлам моторной установки в период предпускового прогрева.

Применение для предпускового прогрева дизельных двигателей с серийными автономными подогревателями не находит применение в силу невысокой надежности, повышенной пожароопасности и их высокой стоимости [2].

На наш взгляд, наиболее перспективным направлением для решения вопросов, связанных с проблемой предпускового разогрева дизельных двигателей в условиях отрицательных температур, является рациональное использование внутренних резервов самого двигателя и разумного использование вторичных энергоресурсов, путем аккумулирования теплоты охлаждающей жидкости дизельного двигателя [3]. Технически это достигается применением на тракторах систем с бортовыми тепловыми аккумуляторами (ТА), за счет использования тепловой энергии запасенной в охлаждающей жидкости и сохраненной в период межсменного хранения. В дальнейшем, запасенная горячая жидкость в ТА аккумулируется, за счет эффективной тепловой изоляции, и после межсменного простоя техники, перед пуском двигателя, принудительно замещается с охлаждающей жидкостью блока двигателя, частично прогревая двигатель и тем самым создавая благоприятные условия по пуску моторной установки [4].

В настоящее время в свободной продаже имеются серийные образцы ТА марок УОПД-0.2-2, УОПД-0.2-3 и УОПД-0.8, которые предназначены для легкового транспорта. Для большегрузной и автотракторной техники серийные образцы ТА не выпускаются. В связи с данной ситуации, предлагается рассмотреть различные варианты по аккумулированию и сохранению охлаждающей жидкости двигателя энергонасыщенных средств в период межсменного хранения техники, для последующего предпускового разогрева дизеля.

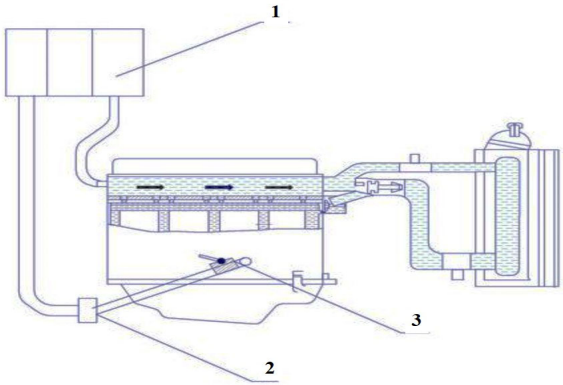



Рисунок 1 – Общая схема экспериментальной установки
1 – теплоаккумулятор; 2 – электрический водяной насос; 3 – запирающий кран

Предлагается, для аккумулирования охлаждающей жидкости двигателя Д-240, использовать связку из нескольких серийных ТА (рисунок 1), соединенных последовательно, в силу того, что объем системы охлаждения моторной установки трактора в несколько раз больше, чем легкового автомобиля. Суммарный объем жидкости в ТА составил около 11 л, что сопоставим с объемом охлаждающей жидкости (ОЖ) в двигателе Д-240 циркулируемый по малому кругу.

Забор горячей ОЖ из двигателя в ТА осуществляется из блока цилиндров, в дальнейшем жидкость аккумулируется в 3-х ТА с минимальными потерями тепла в окружающую среду, и перед пуском сохраненная горячая жидкость с помощью электронасоса перекачивается в головку цилиндров, тем самым создавая благоприятные условия для разогрева головки блока цилиндров и камеры сгорания двигателя.

Проведенные исследования (рисунок 2), по предпусковому разогреву двигателя Д-240 показали результативность предложенного метода. В процессе прогрева двигателя, при замещении жидкости из ТА в систему охлаждения моторной установки, по истечению 3 минут температура жидкости стабилизировалась и составила в среднем 30–35 °С, при начальных условиях: температура окружающей среды – 0 °С, охлаждающей жидкости двигателя – 2 °С, температура жидкости в ТА – 65 0С

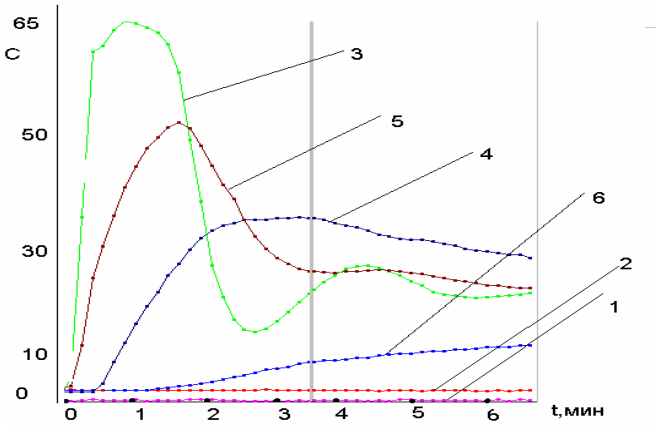



Рисунок 3 – Интенсивность прогрева двигателя жидкостью из ТА:
1 – моторное масло; 2 – окружающая среда; 3 – выход из ТА;
4 – головка в районе 1 цилиндра; 5 – головка в районе 4 цилиндра; 6 – блок цилиндров

Однако интенсивность нагрева двигателя, предложенным способом, не в полной мере обеспечивает эффективность данного процесса, в виду повышенных тепловых потерь, при последовательном перекачивании жидкости через блок ТА.

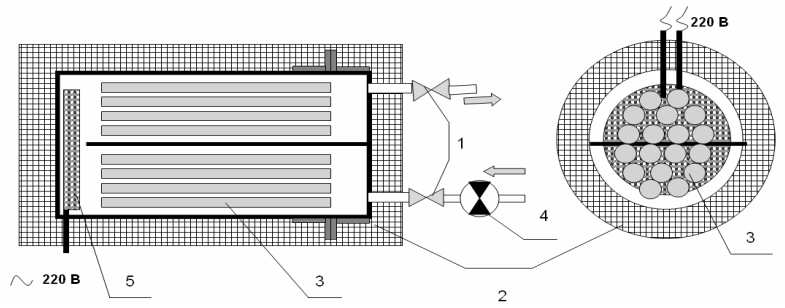



Рисунок 3 – Схема теплового аккумулятора двигателя Д-240:
1 – кран; 2 – теплоизолирующий материал, 3 – капсулы с теплоаккумулирующим материалом, 4 – насос, 5 – электронагревательное устройство

В дальнейшем в процессе совершенствования данного способа прогрева двигателя, предложено использовать ТА в одной емкости с заданными параметрами, с рабочим объемом в 10 литров.

Тепловой аккумулятор (рисунок 3) состоит из цилиндрического корпуса, на наружной поверхности которой располагается тепловая изоляция, к корпусу подведены входной и выходной патрубок для замещения жидкости, внутри корпуса установлен датчик температуры и установлены цилиндрические капсулы с плотной упаковкой, собранных в единую матрицу. Внутри капсул располагается теплоаккумулирующий материал, в качестве которого был выбран тригидрат ацетата натрия ($NaCH_3COO{\cdot}3H_2O$), как один из наиболее эффективных и доступных теплоаккумулирующих материалов.

Внутри корпуса установки размещен нагревательный элемент, для форсированного разогрева жидкости, по необходимости запитанный от внешней электрической сети. С наружной поверхности установку утеплили пенополиуретаном, с толщиной тепловой изоляции 70–80 мм.

За счет снижения интенсивности остывания жидкости в ТА, в период межсменного хранения техники, позволило увеличить эффективность разогрева моторной установки по сравнению с предыдущим способом.

При температуре окружающей среды -12 °С и температуре ОЖ в ТА 70 °С, после межсменной стоянки трактора, результирующая температура в головке блока двигателя составила около 35 °С, через 5 минут работы насоса по замещению жидкости из ТА в систему охлаждения дизеля. Что позволяет создавать более лучшие условия для уверенного пуска дизеля.

Рисунок 4 – Установка теплового аккумулятора на трактор МТЗ

Результаты исследования (рисунок 5) показали эффективность предпускового прогрева двигателя Д-240 предлагаемой конструкции ТА, выполненной в едином корпусе, по сравнению с серийными ТА.

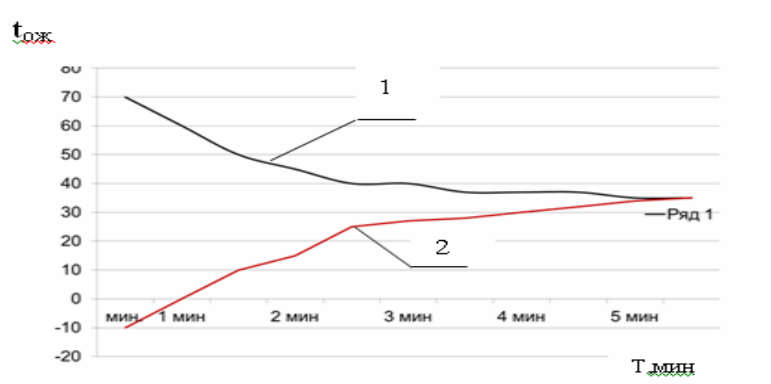



Рисунок 5 – Интенсивность разогрева двигателя Д-240 с использованием ТА при температуре окружающей среды минус 12 0С: 1 – температура охлаждающей жидкости в тепловом аккумуляторе; 2 – температура охлаждающей жидкости в блоке двигателя

Выводы:

Одним из путей повышения эффективности использования автотракторной техники в условиях отрицательных температур, является применение устройств для тепловой подготовки моторной установки с возможностью использования внутренних резервов самого двигателя с применением ТА.

Исследован процесс предпускового разогрева моторной установки Д-240 с различными вариантами применения серийных и индивидуально изготовленного ТА. Установлено, что реализация внутренних резервов моторной установки, позволяет с минимальными техническими издержками обеспечивать достаточные показатели эффективности предпускового прогрева дизельного двигателя, для уверенного пуска дизеля, в период межсменной стоянки энергосредства.

Список использованных источников

1. Корчуганова, М.А. Исследование способов предпускового разогрева дизельных двигателей / М.А. Корчуганова, А.П. Сырбаков // Научно-техническое обеспечение процессов и производств АПК : Материалы научно-практической конференции с международным участием, посвящённая 70-летию образования инженерного института, Новосибирск, 28 октября 2014 года / Редакционная коллегия: Ю.Н. Блынский, Ю.А. Гуськов, П.И. Федюнин, А.А. Мезенов, В.Я. Вульферт. – Новосибирск : Новосибирский государственный аграрный университет, 2014. – С. 71–76.

2. Неговора А.В. Современная концепция тепловой подготовки автотракторной техники в условиях низких температур. / А.В. Неговора, М.М. Разяпов, С.З. Инсафуддинов // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2018. № 4 (48). С. 135–141.

3. Сырбаков А.П. Тепловая подготовка дизельных двигателей / А.П. Сырбаков, Н.Н. Бережнов, М.А. Корчуганова, С.П. Матяш // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 8 (178). – С. 167–174.

4. Сырбаков А. П. Эксплуатация автотракторной техники в условиях отрицательных температур: Учебное пособие [Текст] / А. П. Сырбаков, М. А. Корчуганова – Томск: Изд-во ТПУ, 2012 – 205 с.

**Abstract.** The paper deals with issues related to the problem of starting diesel engines at low ambient temperatures. Based on the analysis of

existing methods of thermal preparation of internal combustion engines, resource-efficient methods of pre-start thermal preparation of tractor engines are considered. On the basis of the proposed design schemes of heat accumulators, full-scale tests were carried out to determine their effective performance.

УДК: 621.22

**Чудинов, А.М.,** аспирант
*ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», г. Челябинск, Российская федерация*

# МЕХАНИЗМ ГЕРМЕТИЗАЦИИ УПЛОТНЕНИЙ ГИДРОЦИЛИНДРОВ

***Аннотация.*** *Механизм герметизации уплотнения обусловливается наличием или отсутствием жидкостной пленки в уплотняемом соединении. Этим одновременно определяется режим трения, интенсивность износа и методика расчета работоспособности и долговечности уплотнения. Возможности возникновения и параметры жидкостной пленки зависят от режима нагружения, кинематических и физических характеристик рабочей жидкости и уплотнительных поверхностей и других конструктивно-технологических и эксплуатационных факторов, анализ влияния которых особенно актуален для сравнительно мало исследованных самоуплотняющихся уплотнений типа упругих тонкостенных оболочек.*

Механизм герметизации уплотнения обусловливается наличием или отсутствием жидкостной пленки в уплотняемом соединении. Этим одновременно определяется режим трения, интенсивность износа и методика расчета работоспособности и долговечности уплотнения. Возможности возникновения и параметры жидкостной пленки зависят от режима нагружения, кинематических и физических характеристик рабочей жидкости и уплотнительных поверхностей и других конструктивно-технологических и эксплуатационных факторов, анализ влияния которых особенно актуален для сравнительно мало исследованных самоуплотняющихся уплотнений типа упругих тонкостенных оболочек [1].

Главными задачами будут являтся:

1. Определение величины утечки рабочей жидкости при известных параметрах уплотнительного устройства и режима его нагружения.

2. Выбор оптимальных значений основных параметров проектируемого уплотнительного устройства при заданных значениях величины утечки и известном режиме нагружения.

При стояночном режиме работы относительные перемещения уплотнительных поверхностей отсутствуют. Под воздействием сил упругости, возникающих за счет предварительного натяга, давления рабочей жидкости и усилий дополнительного поджатия поверхность кромки уплотнения поджимается к поверхности штока с определенным контактным усилием. Для обеспечения минимальной силы трения и интенсивности износа величина контактного усилия должна быть по возможности меньше. Под воздействием контактного усилия микронеровности более твердой поверхности внедряются в более мягкую поверхность. Происходят пластические деформации выступов микронеровностей и упругие деформации нижележащих слоев, однако, не смотря на это, даже при больших значениях контактных усилий, в уплотнительном соединении остается система взаимосвязанных капилляров, расположенных во впадинах микронеровностей. Через систему соединяющихся микрокапилляров проникающая жидкость образует утечку. Сопоставление этого процесса с процессом фильтрации жидкостей в различных натурных и искусственных пористых средах, а также имеющийся опыт исследований уплотнений неподвижных соединений позволяет использовать для моделирования уплотнительного соединения сравнительно простую модель в виде кольцевого пористого тела [1,2]. Для описания фильтрационной модели уплотнительного соединения можно использовать основные уравнения теории фильтрации и теории контактирования шероховатых поверхностей.

Для анализа фильтрационной модели уплотнительного соединения необходимо установление зависимостей между параметрами пористого слоя, показателями качества уплотнительных поверхностей и контактными нагрузками, действующими на реальные соединения. Получение этих зависимостей позволит определить утечку через моделируемое соединение проникающей рабочей жидкости. При решении обратной задачи становится возможным разработать обоснованные требования к технологии обработки уп-

лотнительных поверхностей или к величине предварительного контактного усилия, оптимального сточки зрения минимизации сил трения и износа, и обеспечения заданной герметичности [3].

В результате относительного перемещения уплотнительных поверхностей между ними создаются значительные гидродинамические силы с направлением, противоположным направлению предварительного контактного усилия. Если гидродинамические силы больше контактных, происходит гидродинамическое расклинивание стыка, между уплотнительными поверхностями возникает жидкостный слой. С увеличением его толщины гидродинамические силы уменьшаются, и при достижении равновесия между контактными и гидродинамическими силами толщина жидкостной пленки становится постоянной.

Если они меньше высоты поверхностных микронеровностей, жидкостный слой не является сплошным и срабатывание происходит при граничном или гранично-жидкостном трении, при этом часть внешних нагрузок воспринимается гидродинамическими микроклиньями, а остальная часть воспринимается непосредственно контактирующими отдельными участками уплотнительных поверхностей [3]. Если толщина жидкостной пленки больше высоты микронеровностей, режимы трения в соединении будет жидкостным. В этом случае процессы в стыке уплотнительных поверхностей можно описать, пользуясь основными уравнения гидродинамики вязкой жидкости.

Сравнительно высокие давления рабочей жидкости и большие контактные усилия приводят к определенным контактным деформациям уплотнительных поверхностей, которые необходимо учитывать при определении гидродинамических сил и толщин жидкостной пленки. Кроме того, равновесие между гидродинамическими и контактными силами нарушается воздействием динамических радиальных нагрузок, которые наибольшей интенсивности достигают при динамическом режиме УПС. Оценка данных особенностей возможна при использовании контактно-гидродинамической модели уплотнительного соединения, которая описывается уравнениями контактно-гидродинамической теории смазки [4].

Решение контактно-гидродинамической проблемы позволит определить фактическую толщину жидкостной пленки, которая обуславливает герметичность соединения при жидкостном режиме трения.

В начальной стадии и в конце динамического режима происходит переход от условий непосредственного контактирования уплотнительных поверхностей к режиму жидкостного трения или обратно [5].

Современное состояние теории граничного трения не позволяет точно описать характер этого перехода. Некоторую частичную информацию о границах существования различных режимов трения можно получить путем анализа контактно-гидродинамической модели соединения, сравнивая фактическую толщину жидкостной пленки при перемещенных нагрузках с высотой поверхностных микронеровностей. Если результаты анализа показывают, что возникновение сплошного жидкостного слоя невозможно во всем интервале изменения конструктивно-технологичеких и эксплуатационных параметров, для расчета герметичности необходимо применять фильтрационную модель как при статическом режиме, так и при динамическом режиме УПС. В последнем случае необходимо определить параметры фильтрационной модели с учетом относительного скольжения уплотнительных поверхностей [6,7].

Таким образом, в первую очередь необходимо путем анализа контактно-гидродинамической модели уплотнительного соединения определить возможности и границы существования жидкостного режима трения.

Список использованных источников

1. Уплотнительные устройства в машиностроении : учебное пособие / Б.Г. Жирных, Е.С. Михеенкова, Т.Н. Овсянникова, В. И. Смирнова. – Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 24 с. – ISBN 978-5-7038-4595-0. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/103317 (дата обращения: 10.10.2022). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Никитин, О.Ф. Рабочие жидкости и уплотнительные устройства гидроприводов : учебное пособие / О.Ф. Никитин. – Москва : МГТУ им. Баумана, 2013. – 284 с. – ISBN 978-5-7038-3664-4. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/106456 (дата обращения: 10.10.2022). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Ивановский, Ю.К. Основы теории гидропривода : учебное пособие / Ю.К. Ивановский, К. П. Моргунов. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 200 с. – ISBN 978-5-8114-2955-4. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: https://e.lanbook.com/book/212657 (дата обращения: 10.10.2022). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Шепелев С.Д. Согласование параметров технических средств в уборочных процессах. Автореферат диссертации на соискание

ученой степени доктора технических наук / Южно-Уральский государственный аграрный университет. Челябинск, 2010.

5. Шепелев С.Д., Кравченко И.Н. Согласование параметров технических средств на уборке зерновых культур. /Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2011. № 7–8 (221). С. 71–76.

6. Эксплуатационно-технологические показатели тракторов общего назначения. Окунев Г.А., Шепелёв С.Д., Кузнецов Н.А., Астафьев В.Л./Челябинск, 2014.

7. Совершенствование технологии м средств выполнения зерноуборочных процессов в сельском хозяйстве. Шепелёв С.Д., Плаксин А.М., Гриценко А.В., Аверьянов Ю.И., Глемба К.В., Черкасов Ю.Б., Бурцев А.Ю. /Челябинск, 2018.

**Abstract.** The sealing mechanism of the seal is determined by the presence or absence of a liquid film in the sealed joint. This simultaneously determines the mode of friction, the intensity of wear and the method of calculating the operability and durability of the seal. The possibilities of occurrence and parameters of a liquid film depend on the loading mode, the chemical and physical characteristics of the working fluid and sealing surfaces, and other structural, technological and operational factors, the analysis of the influence of which is especially relevant for relatively little studied self-sealing seals such as elastic thin-wall shells.

УДК 621.436.004+665.753.4

**Карташевич А.Н.**, доктор технических наук, профессор;
**Гордеенко А.В.,** кандидат технических наук, доцент;
**Белоусов В.А.,** кандидат технических наук, доцент
*УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», Горки, Республика Беларусь*

## СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

***Аннотация.*** *В статье приводится описание процесса застывания дизельного топлива (ДТ) в зависимости от содержания в нем Н-алканов, рассмотрено влияние фракционного состава дизельного топлива на его низкотемпературные свойства.*

При воздействии низких температур топливо проходит три стадии текучести:

– на первой стадии топливо мутнеет, начинает образовываться осадок;

– стадия достижения предельной температуры фильтруемости ($t_Ф$), при которой дизельное топливо забивает топливный фильтр и перестает поступать в топливный насос;

– на стадии застывания молекулы Н-парафинов застывают и слипаются до такой степени, что топливо превращается в подобие желе, не способное двигаться по топливной системе

Несмотря на то, что Н-парафины снижают качество топлива в зимний период, они также являются важнейшим смазывающим элементом, обеспечивающим работу топливной системы, в том числе и топливных насосов высокого давления.

Низкотемпературные свойства – температуры помутнения ($t_П$) и застывания ($t_З$) зависят, главным образом, от фракционного состава ДТ (таблица1) [1].

Данные таблицы 1 показывают, что для обеспечения требуемых температур помутнения и застывания зимние топлива получают облегчением фракционного состава. Так, для получения дизельного топлива с $t_П$ = -25 °С и $t_З$ = -35 °С требуется понизить температуру конца кипения топлива с 360 до 320 °С, а для топлива с $t_П$ = -35 °С и $t_З$ = -45 °С – до 280 °С, что приводит к снижению отбора дизельного топлива от нефти с 42 до 30,5 и 22,4 % соответственно [1,7,8].

Таблица 1 – Влияние фракционного состава ДТ на низкотемпературные свойства

| Показатели | Фракции,°С | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 160-280 | 160-320 | 160-350 | 160-370 | 160-390 | 180-350 | 180-370 |
| Выход на нефть, % масс. | 22,4 | 30,5 | 35,9 | 39,2 | 42,0 | 32,2 | 35,5 |
| Фракционный состав: | | | | | | | |
| начало кипения,°С | 188 | 190 | 192 | 194 | 197 | 210 | 211 |
| перегоняется при температуре,°С: | | | | | | | |
| 10% об. | 198 | 201 | 203 | 205 | 211 | 228 | 227 |
| 50 % об. | 226 | 245 | 258 | 265 | 274 | 272 | 275 |
| 90 % об. | 260 | 295 | 320 | 336 | 354 | 327 | 340 |
| 98 % об. | 273 | 306 | 332 | 347 | 362 | 338 | 347 |
| Температура,°С: | | | | | | | |
| помутнения | -38 | -28 | -17 | -11 | -6 | -13 | -5 |
| застывания | -47 | -35 | -30 | -19 | -13 | -22 | -14 |

В летних дизельных топливах содержатся Н-алканы углеродного ряда $C_9$ – $C_{25}$, причем максимум приходится на углеводороды $C_{11}$-$C_{19}$. В зимних и арктических дизельных топливах в основном содержатся Н-алкановые углеводороды с числом углеродных атомов $C_8$ – $C_{18}$, а максимум приходится на $C_{11}$-$C_{12}$.

Таким образом, низкотемпературные свойства дизельных топлив изменяются в широком диапазоне, определяемом, прежде всего, содержанием в них Н-алкановых углеводородов и их температурами плавления. Доказано, что при увеличении содержания суммарных твердых углеводородов в летних ДТ с 5 до 30 % масс. их температура застывания повышается на 13 °С – с -15 до -2 °С. Наибольшее влияние на низкотемпературные свойства ДТ оказывают высокоплавкие Н-алкановые углеводороды $C_{22}$-$C_{24}$. Товарные образцы летних ДТ могут иметь $t_П$ -5 °С и ниже, если содержание в них Н-алкановых углеводородов $C_{19}$-$C_{25}$ не превышает 4,0 % масс. Чтобы предельная температура фильтруемости ($t_Ф$) не превысила -10 °С, концентрация Н-парафиновых углеводородов не должна быть более 2 %масс.

Для изучения процесса образования Н-алканов в дизельном топливе нами были проведены исследования по определению количества кристаллов парафинов в топливе марки ДТ-Л-К5 (Сорт F вид III) с предельной температурой фильтруемости не выше минус 5 °С СТБ 1658-2015, которое наиболее распространено в переходной осенне-зимний период в условиях умеренного климата. Исследования проводились на спектрофотометре СФ-26 согласно методике, приведенной в работе [2] при длине волны спектра 1000 нм для двух образцов топлив с температурами помутнения и застывания $t_П$ =-6 °С $t_З$=-12 °С и $t_П$ =-2 °С $t_З$=-10 °С соответственно. Для этого в монохроматический поток света поочередно вводился образец дизельного топлива (топливо с температурой +28 °С, которая соответствует температуре кристаллизации Н-октодекана) и образцы топлива которые подлежат измерению в интервале температур от +28 °С до -28 °С. Коэффициент пропуска светового потока топлива при t=+28 °С принимался за 100 %, а при введении топлива с t=+28…-28 °С, показаниям измерительного прибора соответствовала величина пропуска в процентах. Измерение температуры топлива осуществлялось терморезисторами КС-22 и цифровым вольт-килоомметром ВК2-6.

Влияние температуры объем Н-алканов исследуемых образцов топлива представлено на рисунке 1.

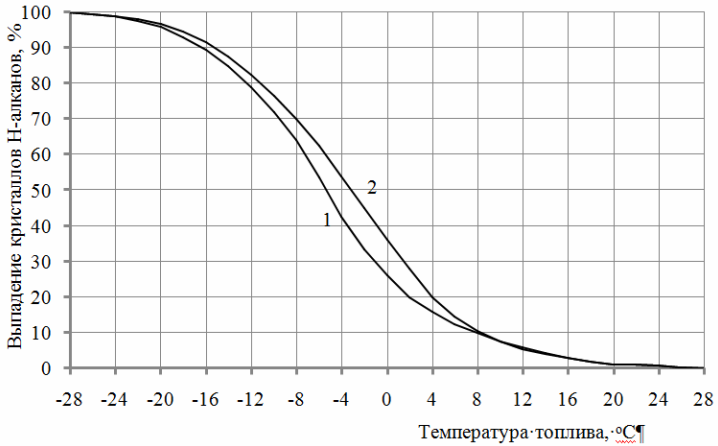



Рисунок 1 – Зависимость содержания Н-алканов в дизельном топливе от температуры:
1 – топливо с температурами помутнения $t_П$=-6 °С и застывания $t_З$=-12°С;
2 – топливо с температурами помутнения $t_П$=-2 °С и застывания $t_З$=-10 °С.

Анализируя приведенные кривые (рисунок 1), можно отметить, что при снижении температуры дизельного топлива от +28 °С до +8 °С количество Н-алканов плавно увеличивается от 0 % до 10 %. Понижение температуры топлива от +8 °С до температуры застывания вызывает резкое нарастание кристаллической фазы до 80 %. Дальнейшее снижение температуры ведет к плавному увеличению кристаллической фазы до 100 % (при Т=-28 °С). При температуре помутнения дизельного топлива количество кристаллов Н-алканов составляет около 50%. Обобщая изложенное выше. можно сделать вывод, что процесс образования парафинов в дизельном топливе марки "Л" непрерывный в температурном интервале от +28 °С до -28 °С.

В настоящее время существует три способа, предотвращающее это нежелательное явление:

1. Воздействие на свойства дизельного топлива в процессе его производства и потребления.

2. Адаптацией конструкции топливной системы дизеля к отрицательным температурам.

3. Созданием условий, смягчающих негативное воздействие внешних факторов как на работу агрегатов топливоподающей системы, так и на свойства самого топлива.

Первая группа в основном сводится к добавлению депрессорных присадок, которые повышают текучесть и прокачиваемость топлив при низких температурах. Однако эффективность действия депрессорных присадок зависит от их концентрации в топливе, его углеводородного состава и наличия в нем асфальто-смолистых веществ. Ввод присадок в дизельное топливо с присутствием воды, которая всегда содержится в условиях эксплуатации, неблагоприятно сказывается на эффективности их применения. Поэтому эффект от депрессорных присадок в реальных условиях всегда оказывается ниже, чем при специальных целевых испытаниях.

Вторая группа – направлена на улучшение низкотемпературной прокачиваемости дизельного топлива. Реализация программы IGF-3 европейского координационного совета по совершенствованию методов испытаний смазок и моторных топлив позволит лишь определить арсенал средств улучшения работоспособности дизельных топлив при низких температурах, а также количественно оценить влияние того или иного фактора.

Третья группа может реализоваться как на стадии создания дизельных установок (размещение агрегатов в местах, защищенных от обдува холодным воздухом), так и в эксплуатации. Однако самый радикальный способ этой группы - подогрев топлива. Применение электроподогревателя позволяет решить проблемы как прокачиваемости, так и фильтруемости дизельного топлива. Кроме того, подогрев топлива позволит снизить выброс вредных веществ в атмосферу с отработавшими газами и расход топлива дизелем, поскольку улучшается процесс сгорания.

Для обеспечения работоспособности топливной системы дизеля в условиях отрицательных температур нами предложен ряд электронагревательных устройств [3,4,5], предназначенных для плавления кристаллов Н-алканов в топливе и установленных на линии низкого давления.

Большое влияние на возникновение и развитие кристаллов парафиновых углеводородов в нефтепродуктах имеет углеводородный состав, определяющий неодинаковую растворимость парафинов в углеводородах различных классов низкозастывающей части нефтепродуктов.

Кристаллы парафина, выделяющиеся из нефтепродуктов при охлаждении, полидисперсны. Скорость образования кристаллов зависит от концентрации парафиновых углеводородов в топливе и их температуры плавления, температурной кривой растворимости, определяемой углеводородным составом топлива и молекулярной массой парафинового углеводорода, а также от скорости охлаждения топлива и интенсивности его перемешивания. Скорость роста кристаллов также зависит от скорости охлаждения топлива, концентрации выделившихся парафиновых углеводородов, вязкости среды и наличия в топливе поверхностно-активных веществ.

Список литературных источников

1. А.Н. Карташевич, Г.М. Кухаренок, А.В. Гордеенко, Д.С. Разинкевич. Улучшение пусковых качеств автотракторных дизелей в зимний период эксплуатации / Монография. – Горки: БГСХА, 2005. – 172 с.

2. Карташеіч А.М., Кожушко В.К. Працэс утварэння крышталев парафінау у дызельнам паліве. // Весці акадэміі аграрных навук Беларусі – Мінск, № 1, 1994. – С. 115–117.

3. Патент BY № 1766 U F 02M 31/00, F02N 17/00. Система облегчения работы дизеля при низких температурах. А.Н. Карташевич, А.В. Гордеенко, Д.С. Разинкевич; заявл. 18.03.2002; опубл. 22.03.2004; Бюл. № 2, 23 с.

4. Патент BU № 1767 U F 02B 77/00. Система защиты топливной аппаратуры дизеля. А.Н. Карташевич, А.В. Гордеенко, Д.С. Разинкевич; заявл. 18.03.2002; опубл. 22.03.2004; Бюл. № 2, 23 с.

5. Пат. 2007609 РФ, МКИ F-02 M 31/12. Подогреватель дизельного топлива./ А.Н. Карташевич, В.С. Бранцевич, В.Д. Прудников (Беларусь). – № 4896914/ 06; заявл. 26.12.90; опубл. 15.02.94; Бюл. № 3.

6. Б.А. Энглин. Применение жидких топлив при низких температурах. – М.: Химия, 1980. – 208 с.

7. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости. Учебное пособие. /А.Н. Карташевич, В.С. Товстыка, А.В. Гордеенко// Минск, «Новое знание». Москва, «ИНФРА-М». 2015. – 420 с.

УДК 629.111.03

**Оберемок В.А.,** кандидат технических наук, доцент;
**Аванесян А.М.,** инженер; **Ракита Р.Ю.,** магистрант
*Азово-Черноморский инженерный институт*
*ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет»,*
*г. Зерноград, Российская Федерация*

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ НА РАБОТУ БАРАБАННОГО ТОРМОЗНОГО МЕХАНИЗМА

***Аннотация.*** *Проведены расчёты зависимости тормозного момента, развиваемого тормозным механизмом с равным перемещение колодок, от коэффициента трения фрикционной пары. Рассмотрены совмещенные кривые тормозного момента тормозного механизма и максимального момента, реализуемого колесом по сцеплению. Определены значения коэффициента трения фрикционной пары, при которых возможна потеря работоспособности АБС.*

Характерной особенностью фрикционной пары барабанного тормозного механизма является снижения коэффициента трения в процессе эксплуатации автотранспортных средств [1]. Однако исследований влияния коэффициента трения на тормозную динамику автомобилей практически не проводились.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния на процесс торможения автомобиля коэффициента трения фрикционной пары барабанного тормозного механизма.

Тормозной момент, развиваемый тормозным механизмом [2]

$$T_m = \frac{(P_1 + P_2) \cdot h \cdot \mu}{A - \mu \cdot B},$$

где A, B – коэффициенты, зависящие от конструкции тормозной колодки;

h – расстояние межу опорной осью колодки и точкой приложения приводного усилия;

$P_1$, $P_2$ – приводные усилия, действующие на соответственно самоподжимную и самоотжимную тормозную колодку;

μ – коэффициент трения фрикционной пары.

Суммарное приводные усилия самоподжимной и самоотжимной колодок тормозного механизма с разжимным кулаком

$$P_1 + P_2 = \frac{P' \cdot l_k \cdot 2}{d_k},$$

где $P'$ – сила, действующая на рычаг разжимного кулака;

$l_k$ – длина разжимного рычага;

$d_k$ – диаметр начальной окружности разжимного кулака.

Максимальную силу $P'$, действующую на рычаг разжимного кулака, рассчитывают из выражения

$$P' = F'_Э \cdot P_H,$$

где $F'_Э$ – эффективная площадь рабочей поверхности диафрагмы тормозной камеры;

$P_H$ – номинальное давление воздуха в тормозном приводе.

Для исследований принимался барабанный тормозной механизм автомобиля КамАЗ-53212 с тормозной камерой типа 24 со следующими параметрами:

- внутренний радиус тормозного барабана $r_б = 200$ мм;
- номинальное давление воздуха $P_H = 0{,}67$ МПа;
- расстояние межу опорной осью и точкой приложения приводного усилия, $h = 326$ мм;
- расстояние от оси крепления тормозной колодки до оси тормозного барабана $S = 167$ мм;
- угол обхвата тормозного барабана тормозной накладкой $\alpha_1 = 129°$;
- угол между тормозной накладкой и осью опорной оси $\alpha_0 = 13{,}0°$;
- длина разжимного рычага $l_k$=125 мм
- диаметр начальной окружности разжимного кулака $d_k = 68$ мм.

Коэффициент трения $\mu$ принимался в диапазоне от 0,1 до 0,5. Расчёты зависимости $T_m = f(\mu)$ производились в рабочей среде Matcad.

Выполненные расчёты показали, что тормозной момент, развиваемый тормозным механизмом с равным перемещением колодок, имеет практически линейную зависимость от коэффициента трения $\mu$.

Работоспособность пневматической тормозной системы с АБС проверялась при движении автомобиля по сухому ($\varphi_x = 0{,}8$) и мокрому ($\varphi_x = 0{,}6$) асфальтобетонному покрытию для передних управ-

ляемых колёс. Максимально возможный тормозной момент, который может реализовать тормозящее колесо рассчитывался по формуле [2]:

$$T_{\max} = G_k \cdot \varphi_{сц} \cdot r_d ,$$

где $G_k$ – нормальная нагрузка на ось тормозящего колеса, Н;

$\varphi_{сц}$ – реализуемый коэффициент сцепления;

$r_d$ – динамический радиус колеса, м.

Проведённые исследования показали, что на сухом асфальтированном шоссе
($\varphi_x$ = 0,80) блокировка колеса наступить при коэффициенте трения фрикционной пары $\mu$ = 0,20. На мокром асфальте
($\varphi_x$ = 0,60) блокировка колёс возможна ещё при меньшем значении коэффициента трения $\mu$.

Таким образом, нормальная работа тормозного механизма для заданных нагрузок на передние колёса обеспечивается уже при коэффициенте трения $\mu \geq 0{,}25$.

На практике, при торможении происходит увеличение нормальной реакции на колёсах переднего моста, зависящей от интенсивности торможения. В этом случае, максимальная нагрузка на передний мост автомобиля с полной массой определится из выражения

$$G_n = G_1 + P_{j\max} \cdot \frac{h_d}{L},$$

где $G_1$ – статическая нагрузка на передние колёса, Н;

$P_{j\,max}$ – сила инерции, действующая на автомобиль, Н;

$h_d$ – высота центра масс автомобиля, м;

$L$ – база автомобиля, м.

Максимальная сила инерции, действующая на автомобиль при торможении

$$P_{j\max} = m_a \cdot j_{\max} \cdot \delta_{вр} ,$$

где $m_a$ – полная масса автомобиля, кг;

$j_{max}$ – максимальное замедление, которое должен реализовать автомобиль в соответствии с ГОСТ 33997-2016;

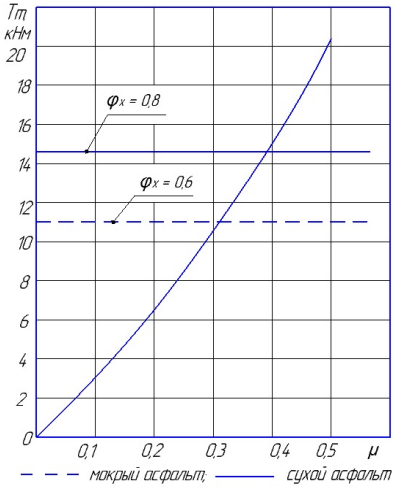
$\delta_{вр}$ – коэффициент учёта вращающихся масс автомобиля при отключённом двигателе.

Совмещенные кривые тормозного момента, реализуемого тормозного механизма и максимальных тормозных моментов, реализуемых колёсами автомобиля при торможении на сухом ($\varphi_x$ = 0,80) и мокром ($\varphi_x$ = 0,60) асфальте, представлены на рисунке 1.

При учёте догрузки переднего моста автомобиля инерционной силой при экстренном торможении на сухом асфальту, как видно из рисунка 1, автомобиль сохраняет способность к блокировке колёс при коэффициенте трения фрикционной пары $\mu > 0{,}39$.

На мокром асфальте, как видно из рисунка 1, способность автомобиля к блокировке передних колёс сохраняется при коэффициенте трения $\mu > 0{,}315$.

На сухом асфальте при коэффициенте трения фрикционной пары $\mu < 0{,}39$. тормозного момента, развиваемого тормозным механизмом, может оказаться недостаточно для блокировки колеса и оно теряет способность блокироваться.




1 – сухой асфальт ($\varphi_x$ = 0,80); 2 – мокрый асфальт ($\varphi_x$ = 0,60)

Рисунок 1 – Совмещенные кривые тормозного момента, развиваемого тормозным механизмом и передними колёсами автомобиля при развитии максимального замедления

При торможении на мокром асфальтированном шоссе с $\varphi_x = 0,6$ колесо теряет способность к блокированию при коэффициенте трения фрикционной пары $\mu<0,315$. В этом случае антиблокировочная система теряет способность эффективного функционирования, что отрицательно скажется на тормозную динамику автомобиля.

В условиях реальной эксплуатации данное явление опасно ещё и тем, что у водителя сохраняется чувство работоспособности антиблокировочной системы.

На сухом асфальте при коэффициенте трения фрикционной пары $\mu = 0,39$ и на мокром асфальте при $\mu = 0,315$ возможно увеличение времени пребывания тормозящего колеса в состоянии кратковременного юза. Данное явление допускается требованиями к АБС, однако это может негативно сказаться на устойчивости автомобиля при экстренном торможении.

Список использованных источников

1. Ревин, А.А. Влияние состояния элементов подвески легкового автомобиля с регулятором тормозных сил (РТС) на тормозную динамику / А.А. Ревин, В.А. Оберемок, А.М. Аванесян // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013, № 86. – С. 334–343.

2. Кравченко, В.А. Автомобили: Анализ конструкций и основы расчёта. Учебное пособие / В.А. Кравченко, В.А. Оберемок, С.Е. Сенькевич. – Зерноград, ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2013. – 326с.

**Abstract**. The conducted studies have shown that during working braking, the normal operation of the braking mechanism is provided already at the coefficient of friction $\mu \geq 0,25$. In case of emergency braking on dry asphalt with the coefficient of friction of the friction pair $\mu = 0,39$ and on wet asphalt $\mu = 0,315$ it is possible to increase the residence time of the braking wheel in a state of short-term skidding. On dry asphalt, with the friction coefficient of the friction pair $\mu = < 0,39$ the braking torque may not be sufficient to lock the wheel. and it loses the ability to block.

УДК 621.43.001.4

**Жданко Д.А.,** кандидат технических наук, доцент;
**Лапиков М.А.,** магистрант;
**Солодкин М.М.,** магистрант
*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

# ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АКСИАЛЬНО-ПЛУНЖЕРНЫХ АГРЕГАТОВ ГИДРОПРИВОДА ПО ОБЪЕМНОМУ КОЭФФИЦИЕНТУ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ

***Аннотация.*** *Рассмотрены вопросы оценки технического состояния аксиально-плунжерных агрегатов гидропривода мобильных энергетических средств по объемному КПД и предложена схема диагностического устройства*

В Белорусском аграрном техническом университете разработан метод и устройство для оценки технического состояния агрегатов гидропривода [1]. На рисунке 1 представлена предлагаемая гидравлическая схема стенда для диагностирования аксиально-плунжерных агрегатов гидравлического привода.

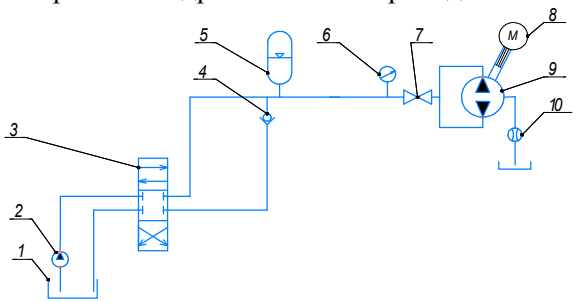



Рисунок 1 – Гидравлическая схема устройства для диагностирования аксиально-плунжерных агрегатов гидравлического привода:
1 – гидробак; 2 – гидронасос с электроприводом;
3 – гидрораспределитель управления; 4 – обратный клапан;
5 – гидравлический аккумулятор; 6 – манометр; 7 – кран;
8 – привод с частотным управлением; 9 – проверяемый гидронасос (гидромотор);
10 – счетчик утечек.

Суть метода состоит в том, что в проверяемом аксиально-плунжерном гидроагрегате 9 с помощью гидронасоса с электроприводом 2 создается номинальное давление рабочей жидкости, которая с помощью гидрораспределителя управления 3 заполняет диафрагменный гидроаккумулятор 5 и поступает в проверяемый аксиально-плунжерный гидроагрегат 9.

Оценка технического состояния и прогнозирование остаточного ресурса аксиально-плунжерного гидронасоса производится по объемному КПД, который определяется по объемным утечкам рабочей жидкости из корпуса проверяемого аксиально-плунжерного гидроагрегата 9.

Оценка технического состояния и прогнозирование остаточного ресурса гидронасоса (гидромотора) производится по объемному КПД [2,3], который может определяться с помощью счетчика утечек рабочей жидкости по зависимости (1) или по изменению объема газа гидроаккумулятора и скорости падения давления рабочей жидкости, запертой в гидросистеме. Отсюда следует вывод, что утечки жидкости в диагностируемом насосе (моторе) равны изменению объема газа гидроаккумулятора $\Delta V$.

$$\eta_o = \frac{Q_m - q_{ут}}{Q_m} = 1 - \frac{q_{ут}}{V_o n} \cdot \qquad (1)$$

где $Q_m$ – теоретическая производительность насоса;

$V_o$ – рабочий объем насоса (мотора);

$n$ – частота вращения вала насоса (мотора);

$q_{ут}$ – утечки жидкости в насосе (моторе).

Запишем формулу 1 с учетом выражения 2

$$q_{ут} = \Delta V \,, \qquad (2)$$

где $\Delta V$ – изменение объема газа гидроаккумулятора.

Применяемые для измерения изменения объема газа гидроаккумулятора $\Delta V$ уравнения зависят от влияния времени на процесс зарядки или разрядки [4]. В качестве практического правила для применения соответствующего уравнения может послужить следующее ограничение:

– продолжительность цикла < 1-й минуты – изменение без теплообмена;

– продолжительность цикла > 3-х минут – изотермическое изменение;

– продолжительность цикла между 1-й и 3-мя минутами – политропное изменение состояния.

Универсальная зависимость для нахождения изменения объема газа гидроаккумулятора $\Delta V$ запишется в следующем виде

$$\Delta V = V_{0_г}\left[\left(\frac{P_0}{P_1}\right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{P_0}{P_2}\right)^{\frac{1}{n}}\right], \qquad (3)$$

где $V_{oг}$ – эффективный объем газа при наддуве;

$P_o$ – давление наддува газовой камеры без нагружения давлением камеры с жидкостью;

$P_1$ – минимальное рабочее давление гидросистемы;

$P_2$ – номинальное рабочее давление гидросистемы;

$n$ – показатель политропы сжатия. $n$=1,0…1,4.

Приведенная зависимость (4) действует только при условии, что в наличии будет идеальная характеристика газа. Различные газы отклоняются, прежде всего при более высоких давлениях, от идеальных законов газовой динамики. Такие свойства обозначаются как "реальные" или "идеальные". Математическая взаимосвязь между параметрами состояния (p, T и V) для реальной характеристики газа может подаваться только в виде приближенного уравнения Применение такого уравнения с достаточной точностью связано на практике с большими трудностями и требует трудоемких операций по вычислению и затрат времени, которые можно преодолеть только путем использования электронной обработки данных. Поэтому рекомендуется применение коэффициентов коррекции, которые учитывают реальную характеристику газа.

На основании этого вытекает, что объем при изотермическом изменении состояния составляет

$$V_{реал} = C_i \cdot V_{o_г}, \qquad (4)$$

где $V_{реал}$ – «реальный» объем газа;

$C_i$ – коэффициент коррекции при изотермическом изменении.

При изменении состояния без изменения теплообмена

$$V_{реал} = C_a \cdot V_{o_г}, \qquad (5)$$

где $C_a$ – коэффициент коррекции без изменения теплообмена.

Коэффициенты коррекции $C_i$ и $C_a$ в уравнениях (4) и (5) могут заимствоваться непосредственно из диаграмм (рисунок 2 и 3) в зависимости от отношения давлений $P_2/P_1$ и максимального рабочего избыточного давления [4].

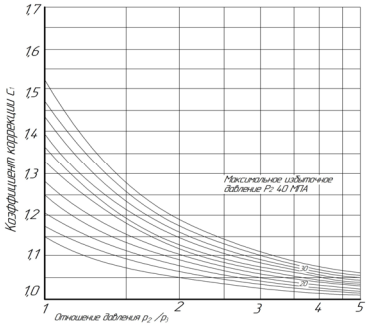



Рисунок 2 – Зависимость коэффициента коррекции $C_i$
от отношения давлений $P_2/P_1$ для изотермического изменения состояния

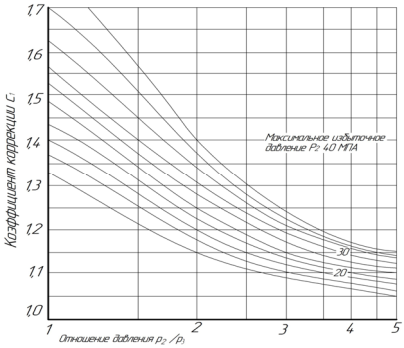



Рисунок 3 – Зависимость коэффициента коррекции $C_a$
от отношения давлений $P_2/P_1$ для изменения состояния без изменения объема

Тогда зависимость (3) запишется в следующем виде:
– при изотермическом изменении состояния

$$\Delta V = C_i V_{0_г} \left[ \left( \frac{P_0}{P_1} \right)^{\frac{1}{n}} - \left( \frac{P_0}{P_2} \right)^{\frac{1}{n}} \right], \quad (6)$$

– при изменении состояния без изменения теплообмена

$$\Delta V = C_a V_{0_г} \left[ \left( \frac{P_0}{P_1} \right)^{\frac{1}{n}} - \left( \frac{P_0}{P_2} \right)^{\frac{1}{n}} \right] \quad (7)$$

С учетом зависимостей (6) и (7) зависимость (1) запишется в следующем виде:

– при изотермическом изменении состояния

$$\eta_o = 1 - \frac{V_{0_г} \left[ \left( \frac{P_0}{P_1} \right)^{\frac{1}{n}} - \left( \frac{P_0}{P_2} \right)^{\frac{1}{n}} \right]}{V_o n_н}, \quad (8)$$

– при изменении состояния без изменения теплообмена

$$n_o = 1 - \frac{V_{o_г} \left[ \left( \frac{P_0}{P_1} \right)^{\frac{1}{n}} - \left( \frac{P_0}{P_2} \right)^{\frac{1}{n}} \right]}{V_0 n_н}, \quad (9)$$

Используя зависимости (8) и (9) можно провести оценку технического состояния и спрогнозировать остаточный ресурс гидронасоса (гидромотора) по объемному КПД, который может определяться по изменению объема газа гидроаккумулятора и скорости падения давления рабочей жидкости.

Список использованных источников

1. Устройство для определения объемного КПД аксиально-плунжерного гидронасоса или гидромотора: пат. 21783 Респ. Беларусь МПК7 F 04B 51/00 / Д.А Жданко, В.Я. Тимошенко, А.В. Новиков, Д.И. Сушко; заявитель БГАТУ. – № а20150359; заявл. 01.07.15; опубл. 30.04.18 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2018.

2. Тимошенко, В.Я. Диагностирование гидростатических трансмиссий / В.Я. Тимошенко, А.В. Новиков, Д.А. Жданко, Е.С. Некрашевич // Агропанорама. – 2009. – № 1. – С. 44–48.

3. Столяров, А.В. Повышение долговечности аксиально-поршневого гидронасоса с наклонным блоком восстановлением и упрочнением изношенных поверхностей деталей: автореф. дис. канд. техн. наук. Саранск, МГУ им. Н.П. Огарева, 2009. – 18 с.

4. Проектирование и сооружение гидроустановок. Учебный курс по гидравлике. Том 3 / П. Дрекслер, Х. Фаатц, Ф. Файхт, дипл. инж. Х. Гайс, д-р инж. Й. Морлок, Э. Висман // Маннесманн Рексрот ГмбХ, Лор на Майне/ ФРГ, 1988. – 302.

**Abstract.** The paper considers the issues of assessing the technical condition of axial-plunger hydraulic drive units of mobile power vehicles by volumetric efficiency and proposes a scheme of the diagnostic device.

УДК 621.726:621.78

**Шевченок А.А.[1],** кандидат технических наук, доцент,
**Королевич М.В.[1],** доктор физико-математических наук, доцент;
**Болодон В.Н.[1],** кандидат биологических наук, доцент;
**Сорока Д.И.[2]**
*[1]УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,*
*[2]ГНУ Институт порошковой металлургии НАН Беларуси,*
*г. Минск, Республика Беларусь*

# ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ КЕРАМИК НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ АЛЮМИНИЯ И ЦИРКОНИЯ ДЛЯ НАСАДОК ПЕСКОСТРУЙНЫХ МАШИН И ФОРСУНОК ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ

***Аннотация.*** *С использованием машины трения по схеме «плоскость-диск» исследована интенсивность изнашивания керамик на основе $Al_2O_3$ и $ZrO_2$. Показано, что природа используемых порошков, их дисперсность и режимы изготовления керамических образцов существенно влияют на износ. Наибольшей износостойкостью*

*обладала керамика на основе $Al_2O_3$, полученная из наноразмерных порошков, а также керамики, изготовленные импульсным прессованием и последующим спеканием.*

Керамические материалы на основе оксидов алюминия и циркония являются одними из наиболее перспективных для создания конструкционных материалов и огнеупоров, поскольку обладают уникальным комплексом свойств: высокой температурой плавления, стойкостью к коррозии, износу, низкой теплопроводностью, высокими прочностью и вязкостью разрушения. Износо- и эрозионно-стойкая керамика является основным материалом для изготовления конструкционных деталей, работающих в условиях вибраций, коррозионных и эрозионных факторов. При воздействии таких комплексных нагрузок на хрупкий материал главными параметрами, определяющими механизм износа, согласно модели распространения горизонтальной трещины, являются твердость и вязкость керамики, причем наиболее износостойким считается материал, в котором осуществлено оптимальное сочетание этих факторов. При этом размеры микроструктурных объектов, в частности размер зерна керамики, предопределяют выбор материала с наибольшей эрозионной стойкостью. Размером зерна керамики возможно эффективно управлять путем измельчения исходных компонентов, а также составом и способом введения добавок модифицирующих оксидов, позволяющих наследственно зафиксировать ультрадисперсное зерно в материале и регулировать его рост при спекании [1–3]. В связи с этим целью данной работы является исследование износостойкости материалов, полученных из микронных и наноразмерных порошков оксидов алюминия и циркония в зависимости от технологических режимов изготовления.

Эксперименты проводили на машине трения, в которой реализуется схема «плоскость-диск». На рисунке 1 приведена кинематическая схема машины трения. На вертикально расположенном валу 3, который смонтирован в подшипнике, находящемся в кронштейне крепления шпинделя, закреплен истирающий диск 4. Диаметр диска 50 мм, толщина диска 2 мм. Диск изготовлен из стали 65Г (HRC 45–50). Испытываемый образец 7 диаметром 8–10 мм и дли-

ной около 8–10 мм зажимается в головке рычага 1 и обращен своим торцом к диску 4. Рычаг посажен на валик, на нижнем конце которого закреплена рукоятка, служащая для перемещения образца относительно диска. Грузы 5, натягивая трос 6, перекинутый через ролик и закрепленный верхним концом на рычаге, в головке которого зажимается образец, создают нагрузку на образец. Машина смонтирована на вертикальной станине. Шпиндель приводится во вращение от электродвигателя 2 посредством клиноременной передачи.

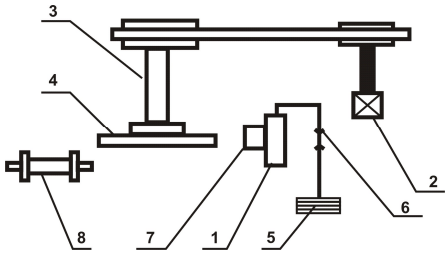



Рисунок 1 – Кинематическая схема машины для испытания на износ

К станине машины трения на поворотном рычаге прикреплена лупа Бринелля 8, позволяющая определять размеры вырабатываемой лунки, не снимая образец [4]. Испытания проводились при скорости вращения 880 мин$^{-1}$ и нагрузке 50 Н.

Интенсивность изнашивания определяли по формуле [4]:

$$I_h = \frac{\Delta V}{A_{\text{Т}} L_{\text{Т}}} = \frac{A_{\text{Т}} h}{A_{\text{Т}} L_{\text{Т}}} = \frac{H}{L_{\text{Т}}} = \frac{b^2}{8 r L_{\text{Т}}},$$

где $I_h$ – интенсивность изнашивания пары трения;

$A_{\text{Т}}$ – площадь поверхности трения;

$L_{\text{Т}}$ – путь трения;

$b$ – длина лунки;

$r$ – радиус истираемого диска.

В качестве исходных материалов использовали промышленные микронные порошки $Al_2O_3$ марки М1, $ZrO_2$ и $Y_2O_3$. Композиции различных составов получали смешиванием в планетарной шаровой мельнице САНД исходных промышленных порошков, взятых в соответствующих весовых соотношениях. Часть экспериментов

проведена на образцах, полученных из синтезированных темплатным методом наноразмерных порошков $ZrO_2$ (5масс. % $Y_2O_3$) и композиции 80 % $ZrO_2$ (5масс. % $Y_2O_3$)-20 % $Al_2O_3$. Образцы прессовали методами традиционного статического, импульсного прессования, последующее спекание проводили на воздухе в интервале температур 1400–1700 °С [1–2]. Кроме того, часть образцов получена спеканием при высоких давлениях (4 ГПа) и температурах (800–1500 °С). Результаты экспериментальных исследований представлены на рисунках 2–5.

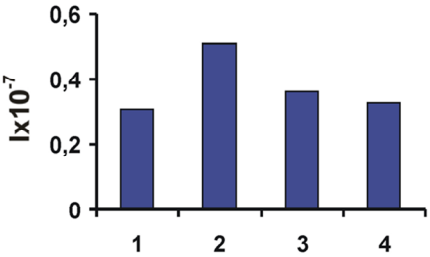



Рисунок 2 – Изменение интенсивности изнашивания образцов керамики из наноструктурного порошка $ZrO_2$ (5масс. % $Y_2O_3$), полученных при давлении 4 ГПа, в зависимости от температуры спекания: 1 – 800 °С; 2 – 1000 °С; 3 – 1200 °С; 4 – 1500 °С

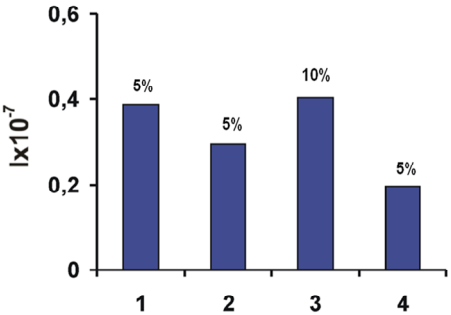



Рисунок 3 – Изменение интенсивности изнашивания образцов керамики из спрессованных традиционным методом промышленных порошков состава $ZrO_2$-$Y_2O_3$: (1, 3) – (1700 °С, 1 ч), (2) – (1580 °С, 2 ч) и наноструктурного порошка (4) – (1580 °С, 2 ч) в зависимости от режимов изготовления и процентного содержания $Y_2O_3$ в образцах

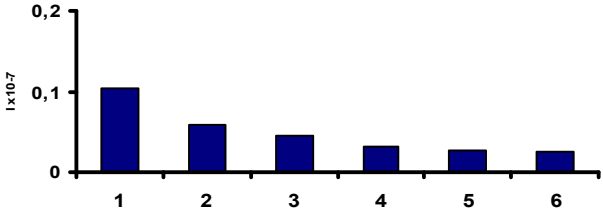



Рисунок 4 – Изменение интенсивности изнашивания экспериментальных образцов в зависимости от дисперсности исходных порошков $Al_2O_3$ (спекание 1600 °С, 1 ч): 1 – исходный порошок (*d* ~ 1 мкм); 2 – помол 4 ч (*d* ~ 0,6 мкм); 3 – помол 7 ч (*d* ~ 0,25 мкм); 4 – нанопорошок (плазмохимический синтез (*d* ~ 0,1 мкм); 5 – нанопорошок (взрыв проволоки *d* ~ 0,05 мкм); 6 – образец из порошка 5, импульс. пресс

Исследования изменения интенсивности изнашивания образцов из нанопорошка $ZrO_2$ (5масс. % $Y_2O_3$) в зависимости от температуры спекания при давлении 4 ГПа показали, что с увеличением температуры спекания износ керамики увеличивается, что, по-видимому, связано с фазовыми превращениями в $ZrO_2$ (рисунок 2). При температуре 800 °С наблюдается наименьший износ. Интенсивность изнашивания керамики $ZrO_2$ ($Y_2O_3$) зависит от метода изготовления и типа используемых порошков (рисунок 3). Увеличение содержания стабилизирующей добавки $Y_2O_3$ с 5 до 10 масс. % (рисунок 3, образцы 1, 3) в промышленные микронные порошки при одинаковых условиях получения не приводит к существенным изменениям интенсивности изнашивания. Увеличение температуры спекания с 1580 °С (рис. 3, обр. 2) до 1700 °С (рис. 3, обр. 3) приводит к увеличению износа, что, вероятно, связано с существенным ростом размера зерна получаемой керамики $ZrO_2$ (10 масс.% $Y_2O_3$). Наименьший износ наблюдается на образцах из нанопорошков состава $ZrO_2$ (5масс.%$Y_2O_3$), спеченных при температуре 1580 °С, 2 ч. (рис. 3, обр. 4). Легирующие добавки к микронным порошкам на основе $Al_2O_3$ приводили к уменьшению интенсивности изнашивания, причем наименьший износ наблюдался на образцах (спекание 1580 °С, 2 ч) с легирующей добавкой MgO. Изменение дисперсности исходных порошков $Al_2O_3$ с 1 мкм до 100–50 нм более чем в 2 раза уменьшало интенсивность изнашивания экспериментальных образцов.

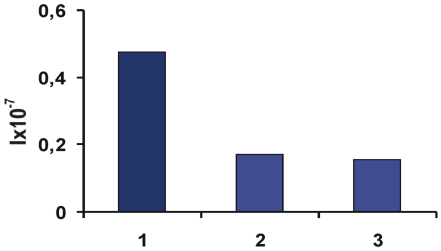



Рисунок 5 – Изменение интенсивности изнашивания образцов композитов состава 80 % $ZrO_2$ (5мас. %$Y_2O_3$) + 20 % $Al_2O_3$ из промышленных порошков (1, 2) и наноструктурного порошка (3) в зависимости от режимов изготовления и типа используемых порошков: 1 – стат. пресс.+ 1580 $^oC$, 2 ч; 2, 3 – импульсное пресс. + 1580 $^oC$, 2 ч

На рисунке 5 представлены результаты изменения интенсивности изнашивания композита состава 80 % $ZrO_2$ (5масс. % $Y_2O_3$) + 20 % $Al_2O_3$ в зависимости от режимов изготовления и типа используемых порошков. Наибольший износ наблюдается на образце, полученном из промышленных порошков традиционным прессованием (рисунок 5, обр. 1). На образцах, полученных импульсным прессованием (рисунок 5, обр. 2, 3), наблюдается существенное уменьшение (на 40–50 %) интенсивности изнашивания композита по сравнению со статическим прессованием (рисунок 5, обр. 1). Причем износ композита из наноразмерных порошков был наименьшим (рисунок 5, обр. 3).

Таким образом, проведенные исследования показывают, что тип используемых исходных порошков, их дисперсность и режимы изготовления керамических образцов существенно влияют на износ. Среди исследованных материалов наибольшей износостойкостью обладает керамика на основе $Al_2O_3$. Использование в качестве исходных материалов наноразмерных порошков, а также импульсного прессования с последующим спеканием существенно уменьшает износ керамических материалов. Это обусловлено в последнем случае более высокими физико-механическими свойствами экспериментальных образцов на основе $ZrO_2$ (микротвердостью до 12–14 ГПа и трещиностойкостью более 6–8 МПа·м$^{1/2}$), чем в случае использования промышленных порошков и традиционных методов прессования и спекания.

## Список использованных источников

1. Роль наноструктурных модификаторов при получении композиционной корундовой керамики / Т.М. Ульянова [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2019. – Т. 55, № 4. – С. 400–414.

2. Шевченок, А.А. Влияние фазового состава наноструктурных добавок на структуру и свойства керамики на основе оксида алюминия / А.А. Шевченок [и др.] // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные технологии и материалы: Нанобудущее 2020», 14–16 октября 2020 г / ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет». – Севастополь, 2020. – С. 175–179.

3. Ulyanova, T.M. Composite ceramics based on nanostructured refractory oxide whiskers / T.M. Ulyanova, P.A. Vitiaz, N.P. Krutko, L.V. Ovseenko, A.A. Shevchenok, L.V. Titova, A.R. Luchenok // Advances in Materials, 2014. – 3 (5). –P. 33–37.

4. Савич, В.В. Спеченные порошковые материалы : методы и приборы контроля свойств исходных порошков, исследования структуры и эксплуатационных характеристик изделий из них / В.В. Савич [и др.]. – Минск. : «Геопринт», 2008, – 318 с.

**Abstract.** Wear intensity of ceramics based on $Al_2O_3$ and $ZrO_2$ was studied using a friction machine according to the “plane-disk” scheme. It was shown that the nature of the powders used, their fineness, and the modes of manufacturing ceramic samples significantly affect wear. Ceramics based on $Al_2O_3$, obtained from nanosized powders, as well as pulse pressing and subsequent sintering, had the highest wear resistance.

УДК 631.348.45

**Крук И.С.**[1]**,** кандидат технических наук**,** доцент;
**Карпович С.К.**[2]**,** кандидат технических наук**,** доцент;
**Анищенко А.А.**[1]**,** аспирант
[1]*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*
[2]*Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь*

# МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЛЕВЫХ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ

***Аннотация**. Обоснована необходимость проведения периодической оценки технического состояния опрыскивателей и предложена ее методика.*

**Введение.** Эффективность химической защиты растений может быть сведена к минимуму или быть достаточной при больших производственных и материальных затратах и повышенном воздействии на экологию окружающей среды [1, 2], вследствие использования технически неисправных или неотрегулированных технических средств. Поэтому важным элементом обеспечения качества выполнения технологических операций внесения средств защиты растений является оценка технического состояния используемых машин.

**Основная часть.** Штанговые опрыскиватели должны подвергаться диагностике, профессиональным настройкам и регулировкам с использованием необходимой материально-технической базы [1–3]. В некоторых странах Западной Европы каждая машина, используемая для внесения химических средств защиты растений должна периодически проходить проверку и получать допуск на ее эксплуатацию. Для решения данных задач в республике целесообразно на базе отделений РО «Белагросервис» и предприятий сельскохозяйственного машиностроения – изготовителей опрыскивателей создать специализированные центры для диагностики и оценки технического состояния опрыскивателей, проведения необходимого их технического обслуживания и ремонта с выдачей документа, дающего право на использование машины для выполнения технологических операций внесения средств химизации в растениеводстве.

На основе результатов многолетних исследований в учреждении образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» была разработана методика оценки технического состояния полевых штанговых опрыскивателей и технологических требований к ним [2], содержащая последовательность проведения операций диагностики штанговых опрыскивателей и перечень используемого оборудования. На ее основе разработан проект Технического кодекса установившейся практики «Техника. Сельскохозяйственные опрыскиватели. Основные положения и технологический процесс оценки технического состояния». Согласно нему процесс оценки технического состояния опрыскивателей можно условно разделить на две стадии: оценка состояния узлов без заправки и с заправкой основной емкости рабочей жидкостью (водой). Первая стадия может проводиться на ровной площадке, как правило, под открытым небом, вторая – на ровной площадке под открытым небом при идеальных погодных условиях или в закрытом помещении для исключения влияния на результаты оценки факторов окружающей среды. Структурная схема процесса оценки

технического состояния полевых штанговых опрыскивателей, отражающая состав и последовательность проведения технологических операций, представлена на рисунке 1.

Рисунок 1. – Структурная схема процесса оценки технического состояния полевых штанговых опрыскивателей

Первая стадия включает следующие операции: визуальный осмотр опрыскивателя, осмотр трансмиссии, проверку работы светосигнального оборудования, проверку штанги (проверка работоспособности механизма складывания-раскладывания, подготовка штанги к проверке, проверка наличия и работоспособности предохранительных механизмов штанги, проверка работоспособности механизма изменения высоты установки штанги, проверка работоспособности механизма изменения угла наклона штанги, проверка работоспособности системы стабилизации штанги, проверка работоспособности системы автоматического контроля за положением штанги относительно обрабатываемой поверхности (при наличии)), проверка тормозных систем (подготовка опрыскивателя к проверке тормозной системы, проверка состояние наружных элементов тормозных систем).

На второй стадии проводятся следующие операции: проверка эффективности стояночного тормоза, проверка рабочей тормозной системы, проверка затормаживания опрыскивателя в случае аварийного отсоединения от ЭС, проверка насоса (проверка работы насоса, проверка предохранительного клапана насоса (при наличии), проверка наличия подтеканий масла и рабочей жидкости из насоса, проверка производительности насоса), проверка работоспособности элементов системы перемешивания рабочей жидкости, проверка технического состояния основной емкости и ее элементов (проверка герметичности основной емкости, проверка фильтрующего элемента в заливной горловине, проверка фильтра устройства для заправки химикатами (миксера) (при наличии), проверка устройства для измерения уровня жидкости в емкости, проверка устройства для слива не использованной в процессе опрыскивания жидкости), проверка оборудования для заправки (при наличии), проверка манометра, проверка работоспособности устройства для приготовления рабочих растворов (при наличии), проверка работоспособности устройства для очистки контейнеров, емкостей, канистр для средств химической защиты (при наличии), проверка элементов системы измерения, управления и регулирования (проверка приборов регулировки давления и нормы вылива рабочей жидкости, проверка приборов включения и выключения системы, проверка средств управления), проверка трубопроводов и шлангов, проверка фильтров (проверка наличия и рабочего состояния фильтров, устройство для очистки фильтров, проверка фильтрую-

щих элементов), проверка работоспособности системы включения и выключения отдельных секций штанги, проверка изменения давлений в конце штанги и опрыскивателя, проверка распылителей (подготовка распылителей к проверке технического состояния, идентификация распылителей, проверка системы исключения подтеканий жидкости при выключении подачи жидкости к распылителям), проверка равномерности распределения жидкости по рабочей ширине захвата штанги опрыскивателя (подготовка опрыскивателя к проверке неравномерности распределения рабочей жидкости по ширине захвата, проверка неравномерности распределения рабочей жидкости по ширине захвата, проверка расхода рабочей жидкости каждым распылителем, отклонения расхода между распылителями и расходом указанным изготовителем), проверка падения давлений.

В завершении производится обработка результатов контроля технического состояния полевых штанговых опрыскивателей и составляется протокол оценки технического состояния.

**Заключение.** Профессиональная периодическая оценка технического состояния полевых опрыскивателей позволит обеспечить надлежащий контроль за используемой для внесения средств химизации в растениеводстве техникой и высокое качество (при надлежащей квалификации оператора машинно-тракторного агрегата) выполнения технологических операций. В результате исследований предложена методика оценки технического состояния полевых штанговых опрыскивателей, которая может быть положена в основу технологического процесса диагностики машин на профильных центрах.

Список используемых источников

1. Механизация, экологизация и экономика сферы химизации земледелия Беларуси: проблемы и пути решения / Л.Я. Степук, В.Р. Петровец // Вестник БГСХА, 2020. – № 2. – С. 198–204.

2. Методика оценки технического состояния полевых штанговых опрыскивателей и технологические требования ним / С.К. Карпович, Л.А. Маринич, И.С. Крук [и др.] ; под общ. ред. И.С. Крука. – Минск : БГАТУ, 2016. – 140 с.

3. Направления повышения эффективности использования полевых штанговых опрыскивателей / И.С. Крук [и др.] // Агропанорама, 2022. – № 5 (153). – С. 2–10.

**Abstract.** The necessity of periodic assessment of the technical condition of sprayers was substantiated and its methodology was proposed.

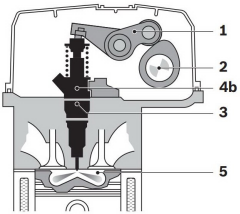
УДК: 629.113

**Тарасенко В.Е.[1],** кандитат технических наук, доцент;
**Мухля О.О.[1],** магистрант;
**Жешко А.А.[2],** кандитат технических наук, доцент
*[1]УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь,*
*[2]РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь*

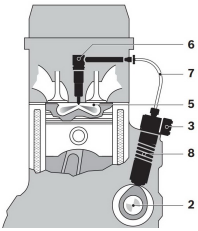
# ДООСНАЩЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО СТЕНДА ДО УРОВНЯ ТЕСТИРОВАНИЯ НАСОС-ФОРСУНОК (UIS) И НАСОСНЫХ СЕКЦИЙ (UPS)

***Аннотация**. Представлены результаты дооснащения диагностического стенда до уровня тестирования на нем насос-форсунок (UIS) и насосных секций (UPS), а также программно-электронным, программно-аппаратным устройствами и другими компонентами, что значительно расширяет функциональные возможности стенда при работе с современными топливными системами.*

Ведущие производители автотракторных двигателей освоили новое поколение дизельных двигателей, которые оснащены топливными системами с электронным управлением и давлением впрыска до 300 МПа и выше. Выполнение перспективных экологических нормативов (Tier-3 и выше) возможно не только лишь с применением аккумуляторной топливной системы Common Rail, как наиболее подходящей для дизелей всех экологических классов и наиболее серийно производимой, но и систем «насос-форсунка» (компонент UIS) (рисунок 1) и «насос-трубка форсунка (единичный ТНВД)» (компонент UPS) (рисунок 2) [1, 4, 5].




1 – коромысло; 2 – распределительный вал; 3 – насос-форсунка UIS для грузовых автомобилей; 4b – электромагнитный клапан, расположенный внутри насос-форсунки; 5 – камера сгорания
Рисунок 1 – Размещение компонента UIS для двигателей грузовых автомобилей




2 – распределительный вал; 3 – электромагнитный клапан; 5 – камера сгорания; 6 – форсунка; 7 – магистраль высокого давления; 8 – компонент UPS.
Рисунок 2 – Размещение компонента UPS для двигателей грузовых автомобилей

Система UIS конструктивно состоит из одного изделия, в котором конструктивно объединены и элемент создания давления, и исполнительный элемент впрыскивания топлива (рисунок 3). Система UPS состоит из разнесённых в пространстве элементов создания давления (единичного насоса), впрыскивания (форсунки) и соединительного трубопровода (рисунок 4).

Рисунок 3 – Изображение компонента UIS для двигателей грузовых автомобилей Delphi 2pin и Delphi 4pin

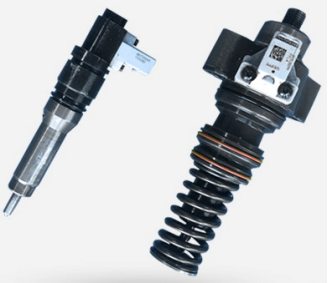


Рисунок 4 – Изображение компонента UPS для двигателей грузовых автомобилей. Bosch, Delphi

Для обеспечения оптимальных показателей по расходу топлива, эффективной мощности дизеля и соответствия все более возрастающим требованиям к токсичности отработавших газов, требуется своевременное выполнение работ по диагностике, регулировке и ремонту дизельной топливной аппаратуры.

На кафедре «Технологии и организация технического сервиса» УО «БГАТУ» в образовательном процессе использовался стенд для тестирования ТНВД ДД 10-04, комплектация которого не позволяла осуществлять тестирование систем с «насос-форсунками» и системами «насос-трубка-форсунка». Проведенная модернизация позволила осуществлять проверку насос-форсунок, форсунок (работающих в паре с индивидуальными ТНВД) и индивидуальных ТНВД [2, 5].

Важным обстоятельством в принятии решения была возможность одновременного использования двух методик определения качественных показателей работы насос-форсунок и насосных секций:

- методика компании BOSCH, где осуществляется определение длительности посадки клапана-золотника с момента активации BIP (begin of injection period);
- методика компании DELPHI (оборудование HARTRIDGE), где осуществляется определение временных характеристик нарастания внутреннего давления топлива, определение периода создания максимального (пикового) внутреннего давления, с использованием датчика LOAD CELL.

Конструктивно насос-форсунки и насосные секции способны создавать высокое давление топлива посредством его сжатия. А к функциям блоков управления впрыском (ЭБУ) относят контроль длительности задержки впрыска от начала подъёма плунжера и сжатия топлива над плунжерном пространстве, и контроль длительности впрыска, путём активации электромагнита. Электромагнит воздействует на золотниковый элемент (анкер), а тот в свою очередь перекрывает (запирает) дренажное отверстие слива. С этого момента начинается создание высокого давления топлива и соответственно впрыск топлива в цилиндр двигателя.

По методике компании BOSCH на мобильной машине и на диагностическом стенде контролируется момент запирания дренажного отверстия. При перемещении и посадке (запирании) анкера происходит электромагнитное токовое возмущение, момент которого, в соответствии с границами регулирования, ЭБУ определяет, как начало процесса создания давления топлива и далее уже ведёт расчёт длительности впрыска, опираясь на полученное значение.

По методике компании DELPHI (Hartridge) на стенде, благодаря наличию тензометрического датчика LOAD CELL, происходит из-

мерение изменения внутреннего давления топлива в соответствии с моментами задержки и активации впрыска. Также по диаграммам внутреннего давления топлива и их положению относительно контрольных точек давления, происходит кодирование насос-форсунок и насосных секций, с последующим прописыванием, полученных на стенде, кодов в ЭБУ ДВС.

Также предложено инсталлировать в модернизированный стенд датчик давления топлива BOSCH на 270 МПа (для определения пикового давления при тестировании систем с насосными секциями).

В стенд дополнительно установили: тестовый CAMBOX с изменяемым ходом плунжера от 10 до 20 мм, блок управления «ПОТОК-UIS», блок измерения производительности «Поток FM2», радиатор охлаждения тестовой жидкости; дополнительные фильтры для защиты высокоточной системы измерения от воздействия грязи и металлических частиц, выходящих из испытуемого компонента; оптический инкрементальный энкодер на 2500 точек (для определения положения кулачка); топливопроводы.

Внешний вид и конструктив стенда, после модернизации, соответствует современным требованиям эстетики и безопасности промышленного оборудования (рисунок 5).

В соответствии с рисунком 5 стенд ДД 10-04 после модернизации включает следующие основные элементы:

– асинхронный электродвигатель привода АИРМ132М2У3 (мощностью – 15 кВт, с частотой вращения 1430 мин$^{-1}$);

– бак (45 л) с установленным на его крышке асинхронным электродвигателем АИР80А4У3 с подкачивающим насосом БГ12-4УХЛ4 и фильтрами;

– нагреватель (1,5 кВт) калибровочного масла в баке (емкостью 45 л);

– систему термостабилизации калибровочного масла с 2-мя охладителями (радиатором) и датчиком для контроля температуры калибровочного масла ISO 4113, подаваемого к тестируемому компонентус заданным диапазоном настройки (40+-2ºС);

– CAMBOX с дополнительными адаптерами для установки тестируемых компонентов;

– приводную муфту;

– систему фильтрации калибровочного масла, состоящая из фильтров Bosch 1 457 434 437;

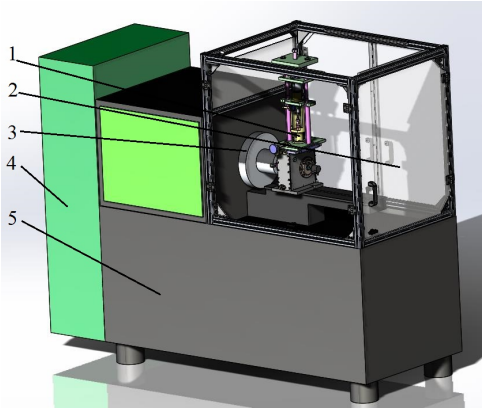
– масло-бензостойкие топливопроводы диаметром 10 мм и 8 мм;

– полугибкие топливопроводы высокого давления топлива «PARKER»;

– блок управления «Поток-UIS» для управления стендом, совместно с измерительным блоком «Поток FM-2»;

– защитный экран с блокировкой его открытого состояния.

Определение параметров работы компонентов производится по заданной программе, состоящей из тест-планов, с возможностью тестирования в ручном или автоматическом режимах.




1 – CAMBOX; 2 – защитный экран; 3 – маховик; 4 – электрощит; 5 – стенд
Рисунок 5 – Модернизированный стенд ДД 10-04

Модернизированный стенд позволяет [5]:

– проверять легковые и грузовые компоненты фирм BOSCH, DELPHI, SIEMENS (VDO), CATERPILLAR, L`ORANGE, CUMMINS, и многих других;

– автоматически переключать напряжение питания (12В/24В) в зависимости от типа проверяемого компонента;

– измерять частоту вращения электродвигателя стенда;

– управлять частотой вращения вала привода стенда;

– управлять направлением вращения электродвигателя стенда;

– управлять нагревателем и охладителем тестовой жидкости;

– управлять пускателем топливоподкачивающего насоса (ТПН);

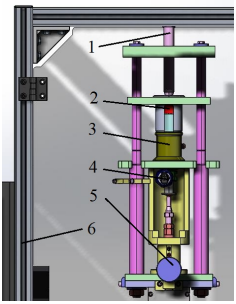
– осуществлять автоматическое, ручное либо внешнее управление созданием высокого давления в топливной рампе;

– создавать пользовательские тест-планы для проверки компонентов с созданием профиля сигнала (напряжение открытия, ток открытия, напряжения удержания, ток удержания, напряжение закрытия и др.);

– отображать графики изменения давления, благодаря датчику LOAD CELL (рисунок 6);

– формировать отчеты с результатами измерений в диагностической карте;

– подключиться к ПК.




1 – прижимной винт; 2 – датчик нагрузки LOAD CELL;
3 – адаптер для установки компонента; 4 – тестируемый компонент;
5 – винт регулировки хода толкателя (10–20 мм); 6 – каркас защитного экрана
Рисунок 6 – Модернизированный стенд ДД 10-04 (рабочая зона)

Основные функции стенда состоят в следующем. Автоматическое управление оборотами вала привода стенда построено на PID-регуляторе и позволяет стабилизировать обороты в диапазоне +- 10 мин$^{-1}$. Автоматическая термостабилизация позволяет настроить температуру калибровочного масла, подаваемого к испытуемому компоненту с диапазоном гистерезиса 40 +-2°С. Для улучшения термостабализации в стенде имеется 2 активных радиатора охлаждения. Один термостабилизирует жидкость, выходящую из тестируемого компонента, а второй для общей термостабилизации системы охлаждения калибровочного масла. Для измерения производительности инжекторов мы выбрали «Поток FM-2». 2-х канальный измеритель весового типа, в нашем случае используется один канал измерения. Из недостатков следует отметить более долгое получение первых значений наливов инжекторов (около 10–15 с).

Из достоинств, простота конструкции, что позволят не беспокоиться о загрязнённом топливе, поступаемом к каналам измерителя; отсутствие математической зависимости от температуры поступаемого калибровочного масла; простота калибровки; простота постгарантийного обслуживания.

Наличие в системе оптического энкодера и возможности подключения дополнительного датчика давления топлива, позволит широко использовать данный стенд в научно-исследовательских целях и получить ответы на вопросы о формировании нестабильных наливов форсунок, о происхождении и причинах возникновения пульсаций давления в гидравлических системах низкого и высокого давления топлива, определении зависимости скорости создания внутреннего давления топлива в компоненте от скорости набегания втулки на кулачок и многих других.

Проведенная модернизация позволила достичь широкого круга функциональных возможностей при работе с насос-форсунками, форсунками (работающими в паре с индивидуальными ТНВД) и индивидуальными ТНВД без значительных финансовых затрат.

Список использованных источников

1. Двигатели внутреннего сгорания: теория рабочих процессов: учеб. для вузов: в 3 кн. / В.Н. Луканин [и др.]; под ред. В.Н. Луканина и М.Г. Шатрова. – 3-е изд., перераб. и испр. – М.: Высшая школа, 2007. – Кн. 1. – 479 с.

2. Тарасенко В.Е., Мухля О.О., Жешко А.А., Сырбаков А.П. Расширение функциональных возможностей диагностического стенда ДД 10-01 [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – № 2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/2/st_215.pdf. DOI: https://doi.org/10.51419/202122215.

3. Тарасенко, В.Е. Анализ топливных систем дизелей с электронным управлением топливоподачей / В.Е. Тарасенко, А.А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2016. – Вып. 50. – С. 52–57.

4. Габитов И.И., Грехов Л.В., Неговора А.В. Техническое обслуживание и диагностика топливной аппаратуры автотракторных двигателей. – М.: Легион-Автодата, 2008.

5. Мухля, О.О. Расширение функциональных возможностей стенда ДД-10-04 / О.О. Мухля, С.В. Горностай ; науч. рук. В.Е. Тарасенко // Техсервис-2022 : материалы научно-практической конференции студентов и магистрантов, Минск, 12–13 мая 2022 г. – Минск: БГАТУ, 2022. – С. 19–24.

УДК 631.3-6

**Корнеева В.К.,** кандидат технических наук, доцент;
**Капцевич В.М.,** доктор технических наук, профессор;
**Закревский И.В.,** ст. преподаватель;
**Спиридович П.М.,** магистрант;
**Остриков В.В.,** студент
*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

## ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ *pH* В УСЛОВИЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ АПК

***Аннотация***. *Разработана и апробирована методика экспресс-метода определения водородного показателя pH для оценки нейтрализующих, противоизносных и противозадирных свойств моторных масел в условиях предприятий АПК.*

Базовые масла (минеральные или синтетические) являются нейтральными (на шкале *pH* они находятся в пределах *pH* 7). Однако на величину *pH* оказывают влияние присадки и активные ингредиенты, добавляемые в масло. Некоторые из них, в частности, присадки для защиты от износа и коррозии имеют слабокислотную среду и, тем самым вызывают изменение *pH* свежего масла.

В процессе эксплуатации двигателя содержание кислотных соединений в масле непрерывно растет. Одной из основных причин этого является окисление самого базового масла. Кислород, накапливаясь в молекулах масла, вызывает его окисление. На процесс окисления влияют: время эксплуатации масла, его рабочая температура, накопление примесей и др. Кроме того, в процессе эксплуатации моторного масла происходит образование продуктов распада

многих присадок в виде солей металлов, которые служат промоторами окисления и приводят к дальнейшему понижению *pH*.

Накопление кислот в масле приводит к следующим нежелательным изменениям его свойств. Во-первых, ускоряется процесс окисления масла. Во-вторых, по мере увеличения содержания кислорода и его окисляющего действия может значительно возрасти вязкость, что затрудняет доступ масла к поверхностям трения в нужном количестве. В-третьих, при образовании в масле свободных кислот и срабатывании ингибиторов коррозии, коррозионному разрушению подвергаются все поверхности, контактирующие с маслом. В особенности этот процесс затрагивает цветные металлы (например, медь и медные сплавы), а также стальные и чугунные сплавы. Кроме того, присутствие в масле кислот снижает срок службы пластмасс и герметизирующих материалов.

Традиционными методами определения кислотности масел является оценка их щелочного (*TBN*) и кислотного (*TAN*) чисел, которая изначально была разработана для мониторинга контроля качества свежих масел. В дальнейшем эти методы получили широкое применение в мониторинге работающего и отработанного масел. Однако, определение этих показателей стандартными методами может быть осуществлено только в лабораторных условиях с применением сложных химических реагентов. Следовательно, определение данных показателей в полевых условиях нецелесообразно и невозможно. Кроме того, данные показатели не позволяют судить о коррозионной активности масла [1].

Водородный показатель pH, в отличие от двух предыдущих показателей, позволяет однозначно распознать наличие в работающем масле сильных водорастворимых кислот [2].

Впервые использование метода pH для определения наличия кислот в работающем моторном было предложено 1995 г. доктором *K.J. Masters* [3]. Он отметил, что данный метод имеет большой коммерческий и технический потенциал, т.к. метод определения кислотного числа (*TAN*) является более трудоемким и дорогим, и не дает во многих случаях нужную информацию о фактическом состоянии двигателя. K.J. Masters протестированы образцы масел, полученные от различных крупных промышленных предприятий, на *TAN* и *pH* одновременно. Сравнивая полученные результаты, он пришел к заключению: показатели *TAN* работающих масел практически не отличались

от свежих, в то время как показатели *pH* указывали на возрастание коррозионной активности ряда масел, для которых *pH* снижался ниже 3,0, а на поверхностях деталей двигателя образовывались заметные участки коррозионного износа.

Метод определения *pH* основан на приготовлении рабочей смеси, состоящей из исследуемого масла и водного раствора, тщательного перемешивания этих двух компонентов, отстаивания и отделения масла от водного раствора и определения *pH* водного раствора. В качестве водного раствора на ряду с дистиллированной водой могут быть использованы различные растворитель (например, уайт-спирит, толуол и др.), спирты, бензин и др.

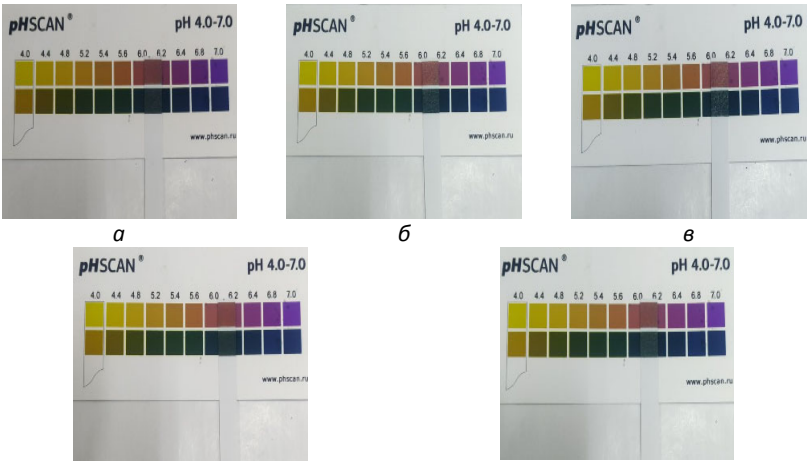
Показания *pH* могут быть определены с помощью *pH*-метра, проведением кислотно-основного титрования или с использованием индикаторов колориметрическим методом.

Доказано, что при оптимальных условиях измерение *pH* в водных растворах с индикатором может быть выполнено точнее, чем при электрометрических определениях [4]. Колориметрия и фотометрия обеспечивают более точные определения констант диссоциации умеренно сильных кислот и оснований, чем это доступно электрометрическим методам. Значительная часть наших представлений о влиянии природы растворителя на взаимодействие кислот и оснований получена с помощью индикаторов.

При разработке методики определения водородного показателя pH (приложения) в качестве рабочей смеси использованы: моторное масло (5 см$^3$ и 50 %-ный водно-спиртовой раствор (5 см$^3$)), а в качестве индикатора – индикаторная бумага *pHSCAN* 4,0–7,0. Для проведения метода процесс перемешивания, отстаивания и отделения водно-спиртового раствора от масла предложено осуществлять при помощи стеклянного шприца.

Для апробации методики определения водородного показателя pH нами выбраны: моторное масло марки *Shell* 10*W*40 с наработкой 0 и 125 ч; Лукойл 10W40 с наработкой 30 ч; *Deutz* 10*W*40 с наработкой 50 ч; *Caterpillar* 10*W*30 с наработкой 240 ч.

Согласно разработанной методики определяли водородный показатель *pH* моторных масел с использованием индикаторной бумаги *pHSCAN* 4,0–7,0 с шагом 0,2. Результаты исследований представлены на рисунке.




*а* *б* *в*

*г* *д*

Рисунок – Результаты апробации метода определения *pH* моторных масел различных марок и наработки: *а* – *Shell* 10*W*40 (0 ч); *б* – *Shell* 10*W*40 (125 ч); *в* – Лукойл 10*W*40 (30 ч); *г* – *Deutz* 10*W*40 (50 ч); *д* – *Caterpillar* 10*W*30 (240 ч)

Полученные результаты показывают, что для всех марок рассматриваемых масел водородный показатель pH находится в диапазоне 6,0–6,2, таким образом по этому показателю они находятся в работоспособном состоянии.

Список использованных источников

1. Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration: ASTM D664-18. – ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018. – 11 p.

2. Ball, P.G. New pH Test Offers Benefits over TAN/TBN / P.G. Ball // Practicing Oil Analysis. – Vol.1, № 2. – Noria Corp., Sept/Oct., 1998.

3. Masters, K.J. Lubricating Oil Analysis – what is it all about? / K.J. Masters // Transactions of The Institution of Diesel and Gas Turbine Engineers. – Publication 489. – December 1995.

4. Бейтс, Р. Определение pH. Теория и практика / Р. Бейтс. – Изд. 2-е, испр. – Ленинград: Химия, 1972. – 400 с.

**Abstract.** A method for the express method for determining the pH value for assessing the neutralizing, antiwear and extreme pressure properties of motor oils in the conditions of agribusiness enterprises has been developed and tested.

УДК 621.923

**Акулович Л.М.,** доктор технических наук, профессор;
**Сергеев Л.Е.,** кандидат технических наук, доцент;
**Стрига М.В.,** студент
*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

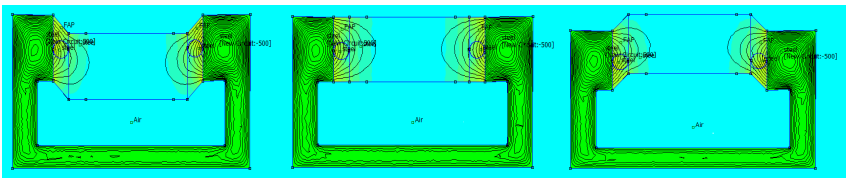
# МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОПОГРАФИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

***Аннотация.*** *Осуществлено моделирование топографии магнитной системы при использовании трех положений рабочего притира относительно полюсных наконечников. Установлено, что у поверхности полюсных наконечников с прямолинейным профилем происходит наибольшая концентрация магнитного потока. Выявлено, что достигаемая точность составляет 16 ГОСТ 3722 – 2014 при предшествующей обработке методом МАО 40 ГОСТ 3722–2014 для шариков диаметром от 2 до 4 мм.*

Широкое применение обработки шариков объясняется простотой реализации и достаточностью результатов при формообразовании сферической поверхности. Вместе с тем задача повышения производительности процесса обработки шариков с высокой степенью точности особенно актуальна на сегодняшний день. Однако общей проблемой предлагаемых решений остается трудность реализации кинематики процесса, которая должна обеспечивать трехосное вращение шариков в рабочей зоне. Поэтому при поиске оптимального решения постоянно приходится делать выбор между двумя требованиями: недопустимостью ухудшения качества обрабатываемых шариков, с одной стороны, и возможностью использования схем доводки, существующих в крупносерийном и массовом производстве шариков, с другой стороны. Основное требование для достижения необходимой шероховатости и точности сферической поверхности заключается в соблюдении одинаковых условий обработки всех участков обрабатываемой поверхности. Поэтому даже незначительная

разноразмерность шариков по диаметру в партии часто не позволяет добиться эквидистантного движения инструмента по обрабатываемой поверхности. Одним из путей решения данной проблемы является применение метода МАО[1 – 2]. В отличие от известных схем доводки шариков возможно использование не только кинематических и динамических факторов процесса, но и воздействия магнитных полей. При МАО необходимая равномерность обработки достигается изменением положения оси мгновенного вращения шариков, что положительно сказывается на производительности и качестве доводки деталей в форме шара.

Образцом для моделирования является сфера, вращающаяся с частотой *n* и находящаяся в магнитном поле, обусловленным наличием тока, равным 2 А. Главная задача заключается в определении напряженности магнитного поля на оси вращения вне шариков, считая известным поле на оси кругового тока, путем ее непосредственного интегрирования. Важным вопросом является определение топографии МП в рабочем зазоре и его влияние на процесс формирования ферроабразивной «щетки». Осуществлено моделирование топографии магнитной системы при использовании трех положений рабочего притира относительно полюсных наконечников (рис.1). Из рисунка 1 видно, что у поверхности полюсных наконечников с прямолинейным профилем происходит наибольшая концентрация магнитного потока. Следовательно, наиболее эффективно ФАП будет обрабатывать шарики в тех местах магнитного поля, где магнитная индукция имеет большее значение. Моделирование топографии магнитного поля производилось с применением программы *FEMM* 4.2.




*(а)* *(б)* *(в)*

Рисунок 1 – Топография магнитного поля в (а) верхнем, (б) среднем, (в) нижнем положениях рабочего притира

Таким образом, анализируя полученное выражение, можно сделать вывод, что наиболее оптимальным диапазоном обрабатываемых размеров шариков являются диаметры 2–10 мм. Это связано с тем, что требуемую величину напряженности магнитного поля при МАО представляет численное значение, равное 100–500 $А \cdot м^{-1}$. Максимально теоретически возможным для обработки методом МАО является размер шарика $d$ = 15 мм. На операции окончательной доводки обрабатывались шарики из стали ШХ15 ГОСТ 801–78, *HRC* 58–62 диаметром от 2 до 4 мм, соответствующие техническим требованиям по 40 степени точности ГОСТ 3722–2014. Температура нагрева притиров не превышала 70–75°С. Для обработки использовалась паста, имеющая в своем составе ряд компонентов, среди которых масло индустриальное И – 40А ГОСТ 20799–93, фракция $C_{17}$–$C_{20}$ синтетических жирных кислот, окись хрома ОХА-0 ГОСТ 2912–79. Режимы процесса МАО шариков: $P$ – рабочее давление в пневмоцилиндре, 1,2–2,8 атм; $n$ – частота вращения верхнего диска, 200–320 $мин^{-1}$; $I$ – сила тока электромагнитной катушки, 2,5–3 А; $d$ – диаметр рабочей канавки диска, 140–235 мм. Биение диска, не более: радиальное – 0,1 мм; торцовое – 0,05 мм. Несоосность верхнего и нижнего сердечников, не более – 0,1 мм. Параметры электрической питающей сети: $U$ = 380 В, $f$ = 50 Гц. Диапазон магнитной индукции в рабочей зоне: 0,3–1,2 Тл (в зависимости от величины силы тока, подаваемого на электромагнитные катушки). На рисунке 2 представлена рабочая зона станка для магнитно-абразивной обработки шариков.

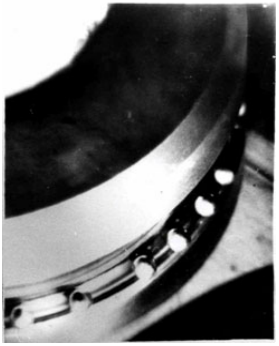


Рисунок 2 – Фотография рабочей зоны станка для магнитно-абразивной обработки шариков.

Заполнение пастой канавки нижнего притира производится либо на станке при отключенной ЭМС, либо путем его снятия и крепления на столе, например, слесарного верстака.Затем осуществляется укладка партии шариков и установка верхнего притира, используя шарики в качестве базы. Выполняется требуемая фиксация притиров и подключение электродвигателя и катушек ЭМС. Устанавливается рабочее давление в пневмоцилиндре, которое при автоматическом отключении электродвигателя необходимо привести к нулю. На рисунке 3 показан станок для МАО шариков с торообразной формой рабочей поверхности полюсов магнита, которая состоит из верхнего и нижнего полюсных наконечников электромагнита. Обработка шариков осуществляется ферромагнитным порошком в магнитном поле, создаваемом магнитной системой, состоящей из общего магнитопровода, сердечника с эксцентрично закрепленным на нем диском, катушек-соленоидов и сердечника с закрепленным на нем полюсным наконечником-диском. Сердечнику сообщается осциллирующее движение в осевом направлении. Амплитуда и частота осцилляции задаются генератором в зависимости от условий обработки. Кроме того, регулируется амплитуда поперечных колебаний полюсных наконечников от нуля до величины, равной величине кольцевого зазора $\delta$.

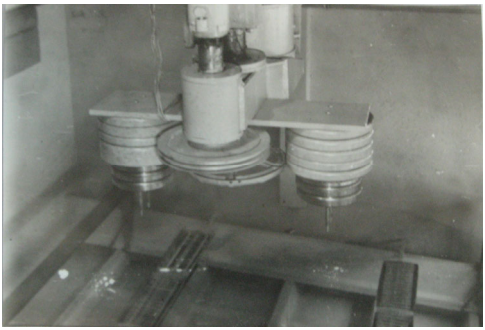


Рисунок 3 – Фотография станка для магнитно-абразивной обработки шариков

При вращении верхний и нижний полюсные наконечники получают поперечное колебание заданной амплитуды и частоты. Одновременно включают генератор, и нижний полюсный наконечник начинает вибрировать. Частицы порошка выстраиваются в магнитном поле по периметру окружности

рабочих канавок полюсов магнита и производят микрорезание поверхности шариков.

После достижения необходимого размера шариков путем их выборочного замера в ходе протекания процесса МАО они собираются, промываются нефрасом С 50/170 ГОСТ 8505–80 и просушиваются сжатым воздухом или протираются хлопчатобумажной тканью по ГОСТ 21790–2005. Также следует убрать остатки пасты с поверхности притиров. В случае переточки притиров ввиду износа требуется произвести их приработку как при наличии магнитного поля, так и в его отсутствие при давлении 0,5–2 атм в течение 3–4 мин. Переточку притиров лучше всего осуществлять по фаскам канавок, а не по их тороидальной образующей. Катастрофический износ притиров определяется как один из вариантов быстрым перемещением стрелки индикатора, что указывает на необходимость прекращения обработки.

Для получения требуемого размера шариков и их необходимой степени точности следует учитывать то, что показания индикатора при проведении приблизительного контроля снимаются только при установившемся режиме обработки. В процессе обработки шариков достигнута 16 степень точности по ГОСТ 3722–2014. Следует указать, что шероховатость поверхности в основном снижалась в начальный период (до 5 мин), а затем практически не изменялась. Уменьшение овальности и гранности происходит в течение всего времени обработки и достигает своих максимальных значений к окончанию процесса обработки. Также равномерно осуществляется съем материала, рисунок 4.

| Ряд 2 | Ряд 3 | |
|---|---|---|
| 0 | 0 | |
| 5 | 20 | 25 |
| 10 | 40 | 30 |
| 15 | 60 | 65 |
| 20 | 80 | 85 |
| 25 | 90 | 80 |
| 30 | 100 | 105 |

Рисунок 4 – Зависимость съема материала (ΔG, мкм) от времени обработки ($t$, мин) шариков $d$ = 3 мм при магнитно-абразивной обработке

Таким образом, путем моделирования топографии магнитного поля при магнитно-абразивной обработке деталей сферической формы теоретически установлены геометрические размеры обрабатываемых шариков, что позволяет произвести прогнозирование процесса. В результате использования данного процесса установлено, что достигаемая точность составляет 16 ГОСТ 3722 – 2014 при предшествующей обработке методом МАО 40 ГОСТ для шариков диаметром от 2 до 4 мм.

Список использованных источников

1. Скворчевский, Н.Я. Эффективность магнитно – абразивной обработки/ Н.Я. Скворчевский, Э.Н. Федорович, П.И. Ящерицын – Минск: Навука і тэхніка, 1991. – 192 с.

2. Акулович Л.М. Магнитно-абразивная обработка сложнопрофильных поверхностей деталей сельскохозяйственных поверхностей деталей сельскохозяйственных машин/ Л.М. Акулович, Л.Е. Сергеев. – Минск: БГАТУ, 2019. – 272 с.

**Abstract.** The topography of the magnetic system is simulated using three positions of the working lapping relative to the pole tips. It is established that the greatest concentration of magnetic flux occurs at the surface of the pole tips with a rectilinear profile. It was revealed that the achieved accuracy is 16 ГОСТ 3722 – 2014 with previous processing by the MAT method 40 ГОСТ 3722 – 2014 for balls with a diameter of 2 to 4 mm.

УДК 621.785.796:669.1

**Анискович Г.И.,** кандидат техничекских наук, доцент;
**Шевчук М.А.,** ассистент
*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»*
*г. Минск, Республика Беларусь*

# ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ ЗАКАЛКЕ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

***Аннотация.*** *В статье приводятся результаты исследований структурного состояния деталей почвообрабатывающих машин после специальной термической обработки изготовленных из кон-*

*струкционных сталей. Показано влияние дисперсного структурного строения упрочненных деталей на их твердость, прочность и ударную вязкость.*

Исследования последних десятилетий показали, что наиболее эффективным способом повышения прочности, а также твердости, при обеспечении достаточной вязкости и пластичности является измельчение структуры сталей путем применения микролегирования, контролируемой прокатки и других способов обработки [1,2,3,4]. Прочность и твердость материала возрастает при уменьшении размеров элементов, образующих его структуру. Связь этих параметров обычно описывается уравнением типа Холла-Петча.

Уравнение, описывающее повышение прочности при измельчении зерна (или субзерна)

$$\sigma_T = \sigma_0 + \frac{k}{d^m}, \qquad (1)$$

где $\sigma_0$ – напряжение, необходимое для движения свободной дислокации или внутреннее напряжение, препятствующее распространению пластического сдвига в теле зерна;

$k$ – коэффициент, характеризующий прочность блокирования дислокаций;

$d$ – диаметр зерна (субзерна).

Повышение твердости материалов описывается уравнением

$$HV = HV_0 + \frac{k}{d^m}, \qquad (2)$$

где $HV_0$ – твердость по Виккерсу монокристалла;

$k$ – коэффициент пропорциональности;

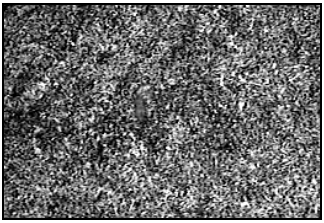
$d$ – диаметр зерна.

Для материала с зеренной структурой $m = 0{,}5$ и для субзеренной структуры $m = 1$.

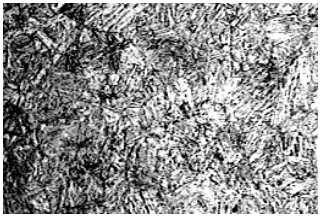
Формированию измельченной структуры в сменных деталях рабочих органов почвообрабатывающих машин, работающих в условиях интенсивного ударно-абразивного изнашивания, западноевропейскими фирмами уделяется особое внимание.

Так, для получения требуемого мелкозернистого структурного состояния и соответствующих высоких механических свойств фирмой “Rabewerk” разработан и реализован технологический процесс специальной термической обработки лемехов и долот плугов, предусматривающий в числе других операций их цементацию на глубину 1,8 мм. Микроструктура цементованного слоя (рисунок 1*а*) упрочненного долота представляет собой мартенсит мелко-, среднеигольчатый, твердость цементованной поверхности 62 HRC, микроструктура основного металла (рисунок 1*б*) – мартенсит малоуглеродистый твердостью 29–30 HRC.

Отечественной технологией, обеспечивающей формирование мелкодисперсных структур, является технология импульсной закалки [5,6,7]. В плоских изделиях из среднеуглеродистых сталей импульсной закалкой в процессе интенсивного охлаждения за счёт фазового превращения достигается формирование в поперечном сечении изделия диссипативного структурного строения с субмелкокристаллическим зерном мартенсита.



*а)*

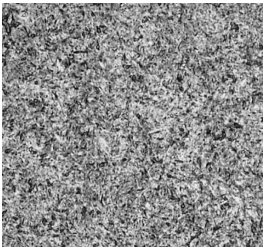


*б)*

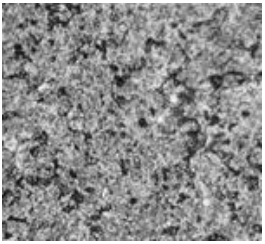
Рисунок 1 – Микроструктура х500 поверхностного слоя (*а)* и сердцевины (*б)* долота фирмы «Rabewerk»

Изучение микроструктурного строения упрочненных импульсной закалкой деталей из стали 60ПП показало, что в поверхностном слое (рисунок 2*а*) образовалась микроструктура весьма мелко игольчатого мартенсита, Твёрдость поверхностного слоя составляет 58–64 HRC. Исследованиями микроструктуры упрочненного слоя образца стали 60ПП по оценке металлографическим методом [8] при увеличениях х5000, х20000 (рисунок 3) выявлено, что максимальная длина игл мартенсита составляет 5–6 мкм, толщина игл – порядка 0,2–0,3 мкм. Структура образца характерна для мартенсита пакетного (реечного) типа со средним поперечным размером реек 450–550 нм. Мартенситные иглы частично фрагментированы,

размер фрагментов находится в диапазоне 20–150 нм, их средний размер составляет 40–50 нм.



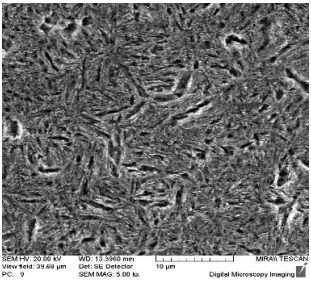
*а)*



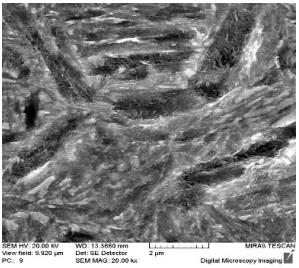
*б)*

Рисунок 2 – Микроструктура (х200) упрочненного слоя (*а*) и сердцевины (*б*)

Снимки микроструктуры троостита в сердцевине плоского образца (рисунок 2*б*) также свидетельствуют о его дисперсности. Твердость сердцевины находится в пределах 28–42 HRC.




*а)*




*б)*

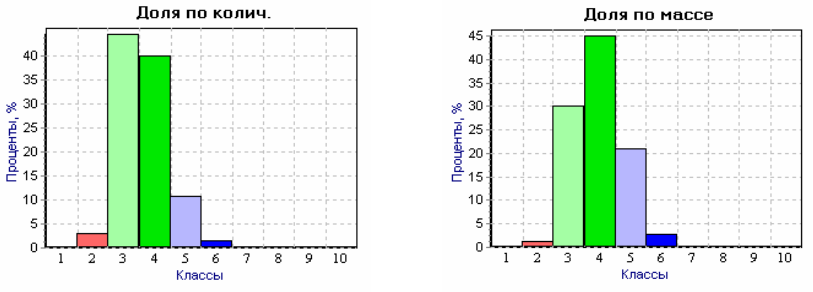
Рисунок 3 – Микроструктура поверхностного слоя, упрочненного импульсной закалкой образца стали 60ПП х5000 (*а*) и х20000 (*б*)

Статистические данные по средней длине фрагментов мартенситных пластин стали 60ПП после упрочнения рабочей поверхности деталей толщиной 6–12 мм показали, что размер 80% фрагментов находится в диапазоне 0,02–0,08 мкм (таблица 1, рисунок 4)

Придание такого дисперсного структурного строения упрочненным деталям является основой повышения их конструкционной прочности и износостойкости [9]. Твердый поверхностный слой и вязкая сердцевина упрочненных импульсной закалкой деталей обеспечивают высокий уровень прочности 2100–2300 МПа и ударной вязкости 0,8–1,25 МДж/м$^2$.

Таблица 1 – Разбиение на классы по длине фрагментов в мартенситных пластинах детали из стали 60ПП.

| Класс | Количество, штук | Интервал, мкм | Доля по количеству, % | Доля по массе, % |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 – 0,02 | 0 | 0 |
| 2 | 2 | 0,02 – 0,04 | 3,08 | 1,14 |
| 3 | 29 | 0,04 – 0,06 | 44,62 | 30,08 |
| 4 | 26 | 0,06 – 0,08 | 40 | 45,04 |
| 5 | 7 | 0,08 – 0,1 | 10,77 | 20,88 |
| 6 | 1 | 0,1 – 0,12 | 1,54 | 2,85 |
| 7 | 0 | 0,12 – 0,14 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0,14 – 0,16 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0,16 – 0,18 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0,18 – 0,2 | 0 | 0 |




*а)* *б)*

Рисунок 4 – Гистограммы распределения фрагментов мартенсита по длине в рабочей части детали из стали 60ПП после низкого отпуска: *а)* доля по количеству; *б)* доля по массе

Импульсной закалкой деталей, изготовленных из нелегированных конструкционных сталей, достигается их мелкозернистое структурное строение, высокий уровень значений твердости, ударной вязкости и прочности, сопоставимые с аналогичными показателями деталей импортного производства. Наличие такой структуры и механических свойств является предпочтительным для деталей, работающих в условиях ударно-абразивного изнашивания.

Список исользованных источников

1. Рыбин В.В., Малышевский В.А., Хлусова Е.И. Технологии создания конструкционных наноструктурированных сталей //МИТОМ, 2009, №6 (643), С. 3–7.

2. Bulk nanocrystalline steel // Jronmaking and steelmaking. – 2005. – V. 32. – P. 405–410.

3. Лякишев Н.П., Алымов М.И. Наноматериалы конструкционного назначения //Российские нанотехнологии, 2006, Т.1, № 1–2, С. 71–81.

4. Быков Ю.А. Структура и свойства конструкционных наноматериалов // Приложение №7 к журналу «Справочник. Инженерный журнал», 2010, №7, С. 1–24.

5. Инновационные технологии упрочнения деталей сельскохозяйственной техники / Н.В. Казаровец, Г.Ф. Бетеня, Г.И. Анискович, А.И. Гордиенко, В.С. Голубев, А.Н. Давидович//Сборник докладов 12 МНТК 10–12 сентября 2012 г., Углич. – М.: Известия, 2012. – С. 219–228.

6. Бетеня, Г.Ф. Анискович, Г.И. Модификация структуры и механических свойств стали пониженной прокаливаемости при импульсном закалочном охлаждении жидкостью. / MOTOROL/ – Lublin-Pzeszow, 2013. Vol. 15. №7. – С. 80–86.

7. Бетеня, Г.Ф. Опыт упрочнения деталей из сталей пониженной прокаливаемости импульсным закалочным охлаждением жидкостью/Г.Ф. Бетеня, Г.И. Анискович //Вестник БарГУ/ – 2013, вып. 1 – С. 152–159.

8. ГОСТ 8233-56. Сталь. Эталоны микроструктуры [Текст. – введ. 1957-07.01. – М.: Изд-во стандартов.1960. – 4с]

9. Арзамасов, Б.Н. Материаловедение: учебник для вузов /Арзамасов, Б.Н/ и др. – Изд. 8-е – Москва: Изд-во МГТУ, 2008. – 648с.

УДК: 629.113

**Тарасенко В.Е.[1],** кандидат технических наук, доцент;
**Мухля О.О.[1],** магистрант ФТС**;**
**Жешко А.А.[2],** кандидат технических наук, доцент
*[1]УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь,*
*[2]РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь*

# АНАЛИЗ СТЕНДОВ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ НАСОС-ФОРСУНОК АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

***Аннотация***. *Выполнен сравнительный анализ конструктивных исполнений и функциональных возможностей наиболее распро-*

*страненных моделей диагностических стендов для тестирования насос-форсунок, а также отмечены наиболее значимые преимущества и недостатки моделей.*

Для оценки состояния элементов дизельной топливной аппаратуры автотракторных двигателей применяют специальные диагностические стенды, обладающие высокой степенью формирования электрических сигналов управления компонентами, сложную кинематическую систему привода толкателя и высокоточной системой измерения производительности. Как правило, это дорогостоящее оборудование стоимостью в несколько десятков и сотен тысяч евро.

Дизельные стенды постоянно совершенствуются. На сегодняшний день это системы с оптимальными габаритами, в которых охлаждение калибровочного масла (ISO 4113) реализовано высокотехнологичными радиаторными схемами и встраиванием систем кондиционирования в корпуса стендов. В них присутствует прямое управление асинхронными и шаговыми двигателями с преобразователями частоты; электронные схемы управления частотой вращения и счётчиками циклов, специальные алгоритмы для слаженного и комплексного управления вращением вала камбокса [1-4].

Нами выполнен сравнительный анализ конструктивных исполнений наиболее распространенных моделей стендов и комплектов дооснащения, а также отмечены наиболее значимые преимущества и недостатки моделей.

**Стенд «AVM2-PC с камбоксом и системой управления HK-1500» компании «Hartridge Ltd», United Kingdom.**

Стенд (рисунок 1) в автоматическом режиме производит тестирование систем «НАСОС-ФОРСУНКА» и «НАСОС-ТРУБКА-ФОРСУНКА» по эталонным тест-планам производителя Delphi. Стандартный тест позволяет испытать электромагнитные и пьезоэлектрические насос-форсунки и насосные секции машин при максимальном рабочем давлении (диапазон 0-300 МПа) для режима максимальной частоты вращения кулачка камбокса. Тестирование компонента осуществляется с контролем производительности подачи и утечек с использованием безмензурочного блока измерения, а также с контролем создаваемого внутри компонента высокого давления и его быстродействия, постоянно снимая показания с датчика нагрузки LOAD CELL и датчика быстродействия RESPONSE

TIME. Также на стенде реализована функция формирования кодов, для 4-х контактных насос форсунок и электроуправляемых насосных секций, в зависимости от полученных результатов по измерению параметров производительности и внутреннего давления [5].

Рисунок 1 – Стенд AVM2-PC с камбоксом и системой управления HK-1500 («Hartridge Ltd», United Kingdom)

Кодирование дизельного компонента изначально внедрено для учёта отклонения его производительности на стенде от заданного «эталонного» значения. Предназначено для более быстрой адаптации блока управления двигателя к фактической производительности конкретного компонента. Также кодирование позволило упростить процесс изготовления и регулировки инжектора, возложив функцию корректировочного значения, для блока управления машиной, на сформированный при производстве или ремонте код.

Основное преимущество – этот стенд является единственным авторизованным решением по проверке и кодированию компонентов DELPHI. Один из недостатков – это стоимость комплекта оборудования.

Ориентировочная розничная цена данного стенда составляет порядка 120000 EURO.

**Стенд «EPS-815», Robert Bosch GMBH.**

Стенд «EPS-815» (рисунок 2) позволяет тестировать компоненты систем «НАСОС-ФОРСУНКА» и «НАСОС-ТРУБКА-ФОРСУНКА» с контролем скорости перемещения управляющего золотника (управление по BIP).

«EPS-815» оснащён встроенной системой охлаждения «проточным водоснабжением», что позволяет контролировать и прогнозировать работоспособность системы охлаждения, постоянно контролируя температуру и объём охлаждающей жидкости на входе в стенд [6].

Особенностью стенда «EPS-815» является наличие интеллектуальной системы самодиагностики, которая обеспечивает персонал достоверной информацией о состоянии стенда.

Стенд позволяет проверять электромагнитные компоненты на всех режимах, имитируя эксплуатацию в двигателях, учитывая полученные технические данные и сравнивая результаты тестирования с заводскими характеристиками [6]. Регулирование в технике происходит с учётом скорости посадки золотника BIP. Это параметр является наиважнейшим контролируемым параметром при проверке на стенде. Особенности данной функции (BIP-регулирование) на сегодняшний день доступны у производителя данного стенда, и ознакомиться с этой функцией можно на обучающих курсах в Академии BOSCH, Москва.

Рисунок 2 – Стенд «EPS-815» Robert Bosch GMBH

Основное преимущество – это высокоточная измерительная система стенда, установлен измерительный модуль компании AVL. Один из недостатков – это скорость проверки компонентов и шумность при работе, а также требование к качеству чистоты калибровочного масла, которое поступает в измерительные ячейки.

Ориентировочная розничная цена данного стенда составляет порядка 100000 EURO.

Также мы не можем не рассмотреть KIT-комплекты для доосна щения стендов, имеющихся у заказчиков, до уровня тестирова-

ния компонентов систем «НАСОС-ФОРСУНКА» и «НАСОС-ТРУБКА-ФОРСУНКА».

**Комплект «HK-1400», «Hartridge Ltd», United Kingdom.**

Этот комплект (рисунок 3) на сегодняшний день является быстромонтируемым, бюджетным решением для мастерских, желающих в базовом варианте иметь возможность протестировать компоненты различных фирм производителей (ALL MAKES). С 2018 года стенд позволяет проверять и пьезоэлектрические насос-форсунки [7].

Основные особенности:

- управляется программным обеспечением Magmah и пользовательским интерфейсом;
- измеряет сопротивление катушки компонента;
- измеряет время отклика форсунки (Response Time);
- производит испытания насос-форсунок Bosch, Delphi, CAT, Siemens, HPI Cummins и др.

Рисунок 3 – Комплект «HK-1400», «Hartridge Ltd», United Kingdom

Основное преимущество – это модульность и возможность достаточно быстрого монтажа-демонтажа на стенд заказчика. Один из недостатков – это отсутствие способности анализировать быстродействия золотника по технологии BOSCH (BIP) и скорость и величину создания внутреннего давления в компоненте DELPHI (LOAD CELL).

Розничная цена данного стенда составляет порядка 25000 EURO.

**Комплект «ПОТОК CAMBOX + UIS tester», «Промышленная автоматика», Республика Беларусь.**

Комплект дооснащения от белорусского производителя (рисунок 4) является высокотехнологичным симбиозом используемых технических решений для мастерских, желающих в расширенном варианте иметь возможность протестировать компоненты различных фирм производителей (ALL MAKES), а в ближайшем будущем и закодировать тестируемые компоненты.

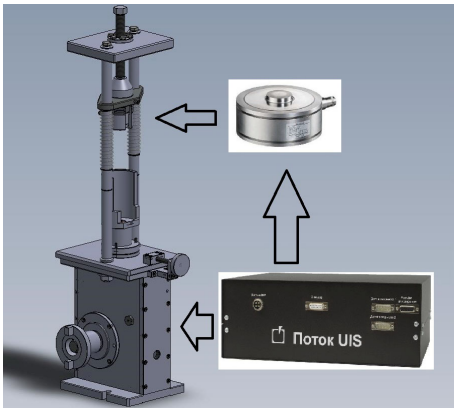



Рисунок 4 – Комплект «ПОТОК CAMBOX + UIS tester», «Промышленная автоматик», Республика Беларусь

Основные особенности:

- управляется программным обеспечением «РОТОК» собственного производства с дружелюбным и интуитивно понятным интерфейсом;
- позволяет тестировать компоненты используя технологию BOSCH, контролируя время перемещения управляющего золотника (BIP);
- измеряет давление в компоненте и скорость его нарастания, благодаря наличию датчика, предусмотренного компанией HARTRIDGE (LOAD CELL);
- испытания насос-форсунок и насосных секций различных мировых производителей (рисунок 5);
- модульная структура комплекта – приобретайте только те адаптеры, которые вам необходимы.

Основные преимущества – это модульность и возможность достаточно быстрого монтажа-демонтажа на стенд заказчика, применяемость различных методик тестирования компонентов (BIP и

LOAD CELL). Один из недостатков – это сложность системы и повышенные требования к подготовке обслуживающего персонала.

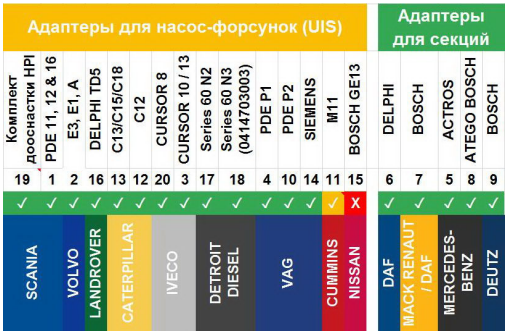



Рисунок 5 – Комплект «ПОТОК CAMBOX + UIS tester», тестируемые компоненты

Розничная цена данного стенда составляет порядка 20000 EURO.

Рассмотрев детально описание каждого стенда и комплектов дооснащения, мы видим, что отличия есть и по используемым технологиям, и по геометрическим размерам, и по количеству используемых адаптеров. Соответственно можно подобрать стенд исходя из загруженности сервисной организации, тестируемых компонентов по производителю, размерам помещения участка сервиса топливной аппаратуры и др. В ряде случаев правильным решением являются этапы модернизации имеющихся диагностических стендов для тестирования систем «НАСОС-ФОРСУНКА» и «НАСОС-ТРУБКА-ФОРСУНКА».

Список использованных источников

1. Тарасенко В.Е., Мухля О.О., Жешко А.А., Сырбаков А.П. Расширение функциональных возможностей диагностического стенда ДД 10-01 [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – № 2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/2/st_215.pdf. DOI: https://doi.org/10.51419/202122215.

2. Тарасенко, В.Е. Анализ топливных систем дизелей с электронным управлением топливоподачей / В.Е. Тарасенко, А.А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2016. – Вып. 50. – С. 52–57.

3. Габитов И.И., Грехов Л.В., Неговора А.В. Техническое обслуживание и диагностика топливной аппаратуры автотракторных двигателей. – М.: Легион-Автодата, 2008.

4. Мухля, О.О. Расширение функциональных возможностей стенда ДД-10-04 / О.О. Мухля, С.В. Горностай; науч. рук. В.Е. Тарасенко // Техсервис-2022: материалы научно-практической конференции студентов и магистрантов, Минск, 12–13 мая 2022 г. – Минск: БГАТУ, 2022. – С. 19–24.

5. Hartridge. Испытательный стенд AVM2-PC [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://impexline.by/ii/file/%20AVM2-PC.pdf. – Дата доступа: 03.10.2022.

6. Инструкция по эксплуатации. Испытательный стенд для ТНВД EPS 807/815 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.teh-avto.ru/userfiles/proditem/instrukciya-na-stend-dlya-remonta-tnvd-bosch-eps-815.pdf. – Дата доступа: 03.10.2022.

7. HK1400 – Universal Bench EUI & EUP Cambox [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.hartridge.com/products/all-makes-eui-eup-testing-hk1400. – Дата доступа: 03.10.2022.

УДК 62-192(07)

**Круглый П.Е.[1], кандидат технических наук, доцент;**
**Кашко В.М.[1], старший преподаватель;**
**Мисун А.Л.[1], старший преподаватель;**
**Круглый П.С.[2], инженер**

*[1]УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*
*[2]РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь*

# ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПОТОКОВ ТРЕБОВАНИЙ НА ОБСЛУЖИВАНИЕ КОРМОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА

**Аннотация.** Приведена методика исследования потоков требований на обслуживание кормоуборочных комбайнов при их техническом сервисе, выполнен анализ потоков требований на обслуживание комбайнов.

В решении проблемы обеспечения надежности кормоуборочных комбайнов важное место занимают вопросы исследования потоков требований на обслуживание.

Ниже приводится методика исследований потоков требований на обслуживание кормоуборочных комбайнов при их техническом сервисе.

Известно, что если время между двумя последовательными отказами распределено экспоненциально, то они образуют пуассоновский (простейший) поток [1, 2, 3]

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t} \qquad (k = 0, 1, 2...), \qquad (1)$$

где $\lambda$ – параметр потока.

Проведенные исследования дают возможность считать приемлемым для описания распределения требований на обслуживание и ремонт (устранение отказов) кормоуборочных комбайнов закон Пуассона.

В результате анализа способов определения надежности и в силу случайного характера появления отказов (требований на обслуживание) кормоуборочных комбайнов можно сделать вывод, что лучшим методом получения оценок показателей надежности будут статистические исследования процесса работы комбайнов в реальных условиях эксплуатации.

При подготовке подобных экспериментов центральным моментом является обоснование количества объектов наблюдений и длительности испытаний.

Минимальное количество отказов *r,* необходимых для оценки показателей эксплуатационной надежности технической системы, при экспоненциальном распределении определяется из условия [4].

$$\delta + 1 = \frac{2r}{\chi^2_{1-\beta;\ 2r}}, \qquad (2)$$

где $\delta$ – относительная ошибка среднего значения исследуемой случайной величины;

$\beta$ – доверительная вероятность оценки параметра;

$\chi^2_{1-\beta;2r}$ – квантиль распределения кси-квадрат с $2r$ степенями свободы и доверительной вероятностью 1-$\beta$.

Обычно при исследованиях надежности машин, работающих в агропромышленном комплексе, значения доверительной вероятно-

сти и относительной ошибки выбирают в пределах β = 0,80...0,95, δ = 0,10...0,25. Принимаем β = 0,90; δ = 0,2. Для принятых нами значений β и δ достаточно зафиксировать 100 требований на обслуживание от взятых под наблюдение объектов.

Минимальное число объектов наблюдений, определенных для экспоненциального закона распределения параметров их эксплуатационной надежности является предельным для любых других законов. Точность оценки при этом повышается.

При обработке информации о потоках требований на обслуживание комбайнов проводится классификация отказов по группам сложности.

Исследование и анализ потоков требований на обслуживание проведено на примере комбайнов кормоуборочного комплекса.

По данным исследований установлено, что 51,6 % от общего числа отказов комбайнов кормоуборочного комплекса относится к отказам первой группы сложности, а 48,4 % отказов – ко второй и третьей группам сложности.

Распределение отказов кормоуборочных комбайнов по агрегатам и узлам приведено в таблице 1.

Таблица 1– Распределение отказов кормоуборочных комбайнов по агрегатам и узлам

| Агрегат, узел | Количество отказов | |
|---|---|---|
| | шт. | % |
| Двигатель | 39 | 8,0 |
| Ходовая часть | 8 | 1,6 |
| Гидростатическая передача, | 6 | 1,2 |
| в том числе: | | |
| гидромотор | 4 | 0,8 |
| гидронасос | 1 | 0,2 |
| бак масляный | 1 | 0,2 |
| Гидравлическая система управления рабочими органами и рулевым механизмом, | 7 | 1,4 |
| в том числе: | | |
| гидрораспределитель | 4 | 0,8 |
| гидроцилиндр механизма управления силосопроводом | 1 | 0,2 |
| рукав высокого давления | 2 | 0,4 |
| Привод рабочих органов | 118 | 24,2 |
| Адаптеры | 210 | 43,1 |
| В том числе режущий аппарат жатки | 161 | 33,0 |
| Питающий аппарат | 7 | 1,4 |
| Измельчающий аппарат | 88 | 18,1 |
| Силосопровод | 5 | 1,0 |
| Итого | 488 | 100,0 |

Распределение отказов кормоуборочных комбайнов (таблица 1) показывает, что наибольшее их число (210 из 488, или 48 %) приходится на адаптеры, в том числе 33 % – на режущий аппарат жатки. Низкую надежность имеют также привод рабочих органов, включающий цепные, ременные, карданные передачи, различные редукторы, и измельчающий аппарат. Наименьшее число отказов зафиксировано у силосопровода, гидравлической системы управления рабочими органами, питающего аппарата, ходовой части.

На основании вида эмпирических распределений и теоретического анализа принята гипотеза о возможности описания потоков отказов кормоуборочных комбайнов законом Пуассона.

Параметр эмпирического распределения потока отказов определялся из соотношения

$$\Lambda = \frac{W}{\mathrm{T}}, \tag{3}$$

где $\Lambda$ – параметр потоков отказов (среднее число отказов в единицу времени);

$W$ – общее число отказов, поступивших от комбайнов за период уборки Т.

Параметр $\Lambda$, вычисленный по данному выражению, для пяти комбайнов составил: 3,48 сут.$^{-1}$ для отказов всех групп сложности; 1,8 – для суммарного потока второй и третьей группы. Выравнивание экспериментальной кривой по принятому теоретическому распределению с использованием статистической оценки $\Lambda$ осуществляли в следующем порядке.

В соответствии со значениями вероятностей возникновения отказов

$$\mathrm{P_k} = \frac{\Lambda^{\mathrm{k}}}{\mathrm{k!}} \mathrm{e}^{-\Lambda} \tag{4}$$

и величиной периода уборки Т устанавливали теоретическое число дней с $k$ требованиями и строили сглаженную кривую.

Согласованность экспериментального распределения потока отказов с теоретическим проверялась по критерию Пирсона.

Вероятность согласия для исследуемых потоков изменяется в пределах 0,2...0,9, что больше нижнего доверительного уровня, принятого равным 0,05.

Таким образом, гипотеза о возможности описания потоков отказов кормоуборочных комбайнов с помощью закона Пуассона не противоречит экспериментальным данным.

Чтобы иметь представление о точности статистической оценки параметра потока отказов, необходимо установить доверительный интервал

$$P(\Lambda_Н \le \Lambda_И \le \Lambda_В) = \beta,$$

где $\Lambda_Н$, $\Lambda_В$ – нижняя и верхняя доверительные границы параметра потока.

Доверительные границы $\Lambda_Н$, $\Lambda_В$ при распределении потока по закону Пуассона определяются зависимостями:

$$\Lambda_Н = \Lambda/r_1; \quad \Lambda_В = r_2,$$

где $r_1$ и $r_2$ – коэффициенты точности оценки, принимаемые в зависимости от количества зафиксированных отказов и уровня доверительной вероятности.

Значение этих коэффициентов для оценки параметра потока отказов при уровне доверительной вероятности $\beta = 0{,}9$ и 212 отказах соответственно равны 1,10 и 0,91. Значит, доверительный интервал для статистической оценки параметра $\Lambda = 3{,}48$ сут.$^{-1}$ составил $3{,}16 \le \Lambda_И \le 3{,}82$ сут.$^{-1}$.

При определении резерва составных частей и для решения других задач, связанных с техническим сервисом кормоуборочных комбайнов, необходимо перейти от параметра потока, идущего от парка уборочного комплекса, к параметру потока отказов одного комбайна за час работы

$$\lambda = \frac{\Lambda}{m\varphi k_{см}\alpha_{см}},$$

где $m$ – парк комбайнов взятых под наблюдение;

$\varphi = 0{,}70$ – коэффициент использования времени смены;

$k_{см} = 1{,}3$ – коэффициент сменности;

$\alpha_{см}$= 7 ч – продолжительности смены.

Рассчитанный при указанных значениях исходных величин параметр λ приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики потоков отказов комбайна кормоуборочного комплекса

| Группа сложности отказов | Параметр потока отказов, $ч^{-1}$ |
|---|---|
| Первая-третья | 0,109 |
| Первая | 0,056 |
| Вторая, третья | 0,053 |

Как видно из таблицы 2, параметр потока отказов комбайнов кормоуборочного комплекса составил: для отказов всех групп сложности 0,109 $ч^{-1}$; для отказов первой группы сложности 0,056 $ч^{-1}$; для отказов второй и третьей групп сложности 0,053 $ч^{-1}$.

Таким образом, проведенный анализ дает возможным считать приемлемым для описания распределения требований на обслуживание и ремонт (устранение отказов) кормоуборочных комбайнов закон Пуассона. Установлено, что от технической системы, состоящей из кормоуборочных комбайнов, поступает простейший поток отказов с параметром 0,109 $ч^{-1}$ на одну машину. Полученные характеристики потока отказов кормоуборочных комбайнов могут быть использованы для обоснования состава службы технического сервиса, производственной мощности ремонтно-обслуживающей базы и нормирования потребности в запасных частях.

Список использованной литературы

1. Тарасенко, В.Е. Надежность технических систем / В.Е. Тарасенко, В.П. Миклуш, А.А. Жешко. – Минск : БГАТУ, 2015. – 204 с.

2. Ивашко, В.С. Повышение надежности технических систем методом резервирования / В.С. Ивашко, П.Е. Круглый, И.А. Немов. – Изобретатель. – №4 (196), 2016. – С. 35–38.

3. Анискович, Г.И. Надежность и ремонт сельскохозяйственной техники / Г.И. Анискович, П.Е. Круглый, В.М. Кашко. – Минск : БГАТУ, 2010. – 44 с.

4. Вентцель, Е.С. Задачи и упражнения по теории вероятностей / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М. : Высш. шк., 2002. – 448 с.

**Abstract.** The methodology of studying the flows of requirements for the maintenance of technical systems is given, the analysis of the flows of requirements for the maintenance of some technical systems is performed. The obtained characteristics of the failure flow of forage harvesters can be used to justify the composition of the repair service, the production capacity of the repair and maintenance base and the rationing of the need for spare hours.

УДК 629.017:621.03

**Щурин К.В.,** доктор технических наук, профессор;
**Шаромето Д.Б.,** магистрант
*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

# ПЛАНИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ МАШИН С УЧЕТОМ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЖЕСТКОСТИ КЛИМАТА

***Аннотация.*** *Рассмотрены результаты сравнительного анализа потенциала работоспособности мобильных машин при эксплуатации в различных климатических условиях. Предложен метод коррекции периодичности технических обслуживаний.*

Промышленность Республики Беларусь является экспортно-ориентированной, и для поддержания и повышения конкурентоспособности высокотехнологичной машиностроительной продукции, в первую очередь мобильных транспортно-технологических машин, требуется обеспечение их показателей надежности на всех стадиях жизненного цикла с учетом высокой вариабельности условий эксплуатации. Это требует анализа и учета основных эксплуатационных факторов, среди которых для конкретных зон поставок одним из основных является климатический фактор, и на этапе проектирования осуществлять необходимую корректировку периодичности технических обслуживаний с целью обеспечения высокого коэффициента технической готовности машин.

Закономерности, характеризующие повреждающие процессы в материалах деталей изделия и приводящие к изменению их начальных свойств, являются основой для расчета и прогнозирования показателей надежности. Основное значение для количественной оценки потери изделием работоспособности имеет изучение законов накопления повреждений, которые раскрывают физико-химическую сущность необратимых изменений, происходящих в материалах изделия.

Оценка степени поврежденности материала в функции времени, является основой для решения задач надежности. Они позволяют прогнозировать ход повреждающего процесса, оценивать возможные его реализации, выявлять наиболее существенные факторы, влияющие на интенсивность процесса; ***на основе этих закономерностей назначается периодичность технических обслуживаний и ремонтов.***

Состояние машины, прежде всего, характеризуется её работоспособностью. Показатель, характеризующий возможную работоспособность машины в любой момент её эксплуатации, называется ***потенциалом работоспособности*** [1], и под этим понимают состояние машины в фиксированный момент времени, характеризующее возможную ее работоспособность, которая оценивается изменением суммарных затрат на производство и последующие ремонты. Общий потенциал работоспособности машины можно представить в виде следующих трех составных частей: активной, резервной и пассивной.

***Активная часть потенциала*** $P_a$ изменяется в процессе эксплуатации машины, поддерживается и восстанавливается в результате проведения технического обслуживания и текущего ремонта.

***Резервная часть потенциала*** $P_p$ необходима для предупреждения наступления предельного состояния машины при эксплуатации.

***Пассивная часть потенциала*** $P_п$ представляет собой незаменяемую часть машины в течение срока службы и материализуется в виде конструкции, материала деталей и трудовых затрат на сборку, окраску и т.п. Пассивная часть потенциала изменяется при замене базовых узлов и агрегатов из-за разрушения или предупреждения возможного разрушения деталей при эксплуатации машины.

В результате действия большого количества детерминированных и случайных факторов процесс изменения и восстановления потенциала работоспособности носит случайный характер. Поэто-

му для множества «одинаковых» машин этот процесс в общем виде можно рассматривать как случайный процесс с перемешиванием его реализаций, и на рисунке 1 представлен его частный случай.

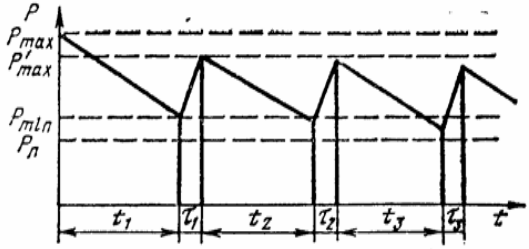



Рисунок 1 – Модель изменения и восстановления потенциала работоспособности мобильной машины

Используя положения теории случайных процессов, можно рекомендовать выборочную функцию математического ожидания изменения работоспособности машин для текущего момента времени, представленную в формуле (1)

$$\tilde{m}_p\left(t\right) = P_{\max} e^{-\nu t}, \qquad (1)$$

и функцию выборочной дисперсии, представленную формулой (2):

$$\tilde{D}_p\left(t\right) = t\left(\alpha_1 + \alpha_2 \cdot t\right), \qquad (2)$$

где $\upsilon$, $\alpha_1$, $\alpha_2$, – показатель степени и коэффициенты, определяемые экспериментально.

Одним из основных потребителей белорусской автотракторной, строительно-дорожной, коммунальной и сельскохозяйственной техники является Россия, имеющая наибольшую вариабельность природно-климатических условий. Эксплуатация машин на открытом воздухе обуславливает повышенную интенсивность неблагоприятного воздействия климатических факторов, в первую очередь, низких и высоких температур воздуха, суточных и годовых амплитуд и размахов температур, солнечной радиации, влажности воздуха, интенсивности осадков, скорости и направления ветра. Неблагоприятные воздействия оказывают такие атмосферные явления, как метели, иней, туманы, гололед, пыльные и песчаные бури и др. В результате дополнительного повреждающего воздействия на-

званных факторов физико-механические и химические свойства конструкционных и эксплуатационных материалов, как правило, ухудшаются. Изменение свойств используемых материалов приводят к снижению их сопротивления воздействию основных повреждающих процессов – изнашивания, коррозии, усталости, старения и эрозии, и, как следствие, снижению показателей надежности машин и эффективности их использования (рисунок 2). Решение проблемы обеспечения оптимальной надежности технических и эргатических систем при их эксплуатации в различных климатических условиях требует обобщения накопленного опыта создания машин, рассчитанных на работу в различных климатических условиях.

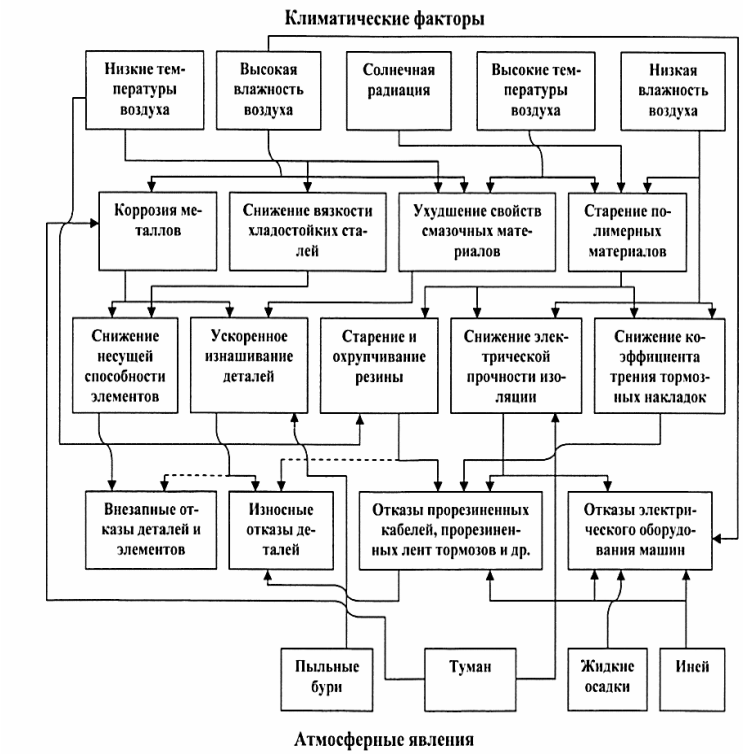



Рисунок 2 – Схема комплексного влияния климатических факторов и атмосферных явлений на свойства материалов и надёжность машин

Поскольку климат Земли характеризуется большим разнообразием, вся её территория по показателям климата для технических

целей условно разделена на шесть макроклиматических районов, характеристика которых приведена в таблице 1 [2, 3].

Таблица 1 – Классификация и характеристика климатических районов для технических целей

| Район | Характеристика |
|---|---|
| Умеренный | Территория, на которой средняя из ежегодных абсолютных максимумов температуры воздуха равна или ниже 40 °С, средняя из ежегодных абсолютных минимумов температуры воздуха равна или выше – 45°С |
| Холодный | Территория, на которой средняя из ежегодных абсолютных минимумов температуры воздуха ниже – 45 °С |
| Тропический влажный | Территория, на которой сочетание температуры воздуха 20 °С или выше и относительной влажности 80 % или выше наблюдается в сутки 12 ч и дольше за непрерывный период более двух месяцев в году |
| Тропический сухой | Территория, на которой средняя из ежегодных абсолютных максимумов температуры воздуха выше 40 °С и которая не относится к макроклиматическому району с влажным тропическим климатом. |
| Умеренно-холодный морской | Акватория морей и океанов, расположенная севернее 30° северной и южнее 30° южной широты. |
| Тропический морской | Акватория морей и океанов, расположенная между 30° северной и 30° южной широты. |

Макроклиматические районы холодного климата разделены на зоны арктического и субарктического климата, а между районами тропического и умеренного климата расположены зоны субтропического климата.

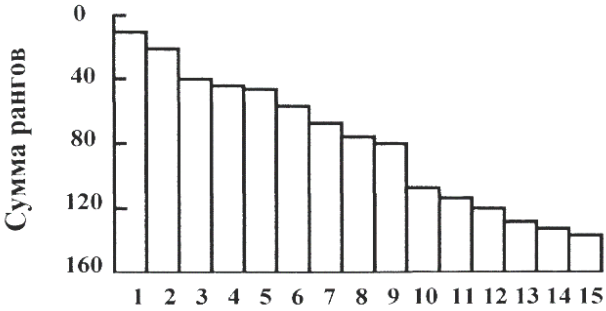
На свойства конструкционных материалов и, следовательно, на показатели надежности машин существенно влияют не все климатические факторы и атмосферные явления; влияние основных повреждающих факторов схематически показано на рисунке 2.

Наиболее существенно на технические устройства влияют низкие и высокие температуры воздуха, солнечная радиация, влажность воздуха, скорость ветра, туманы, метели, пыльные бури. Из-

менения свойств материалов зависят также от интенсивности и продолжительности воздействия перечисленных факторов и их наиболее неблагоприятного сочетания. В качестве обобщающего показателя климатических воздействий избрана ***техническая жесткость климата***.

Для повышения точности моделирующих зависимостей необходимо учитывать в них влияние как можно большего числа факторов. Однако такие формулы были бы весьма громоздки, поэтому необходимо отбирать наиболее значимые факторы, существенно влияющие на прогноз технической жесткости климата и погоды.

В общем виде эти модели могут быть представлены как многофакторные функционалы, основные составляющие которых представлены и ранжированы на диаграмме (рисунок 3).




1 – $t_{в\ min\ ср}$; 2 – $t_{в\ max\ абс}$; 3 – относительная влажность воздуха;
4 – прямая солнечная радиация; 5 – амплитуда температуры воздуха;
6 – средняя скорость воздуха; 7 – пыльные бури; 8 – рассеянная радиация;
9 – продолжительность жаркого периода; 10 – туман;
11 – максимальная скорость ветра; 12 – количество осадков;
13 – атмосферное давление; 14 – переход температуры через 0 °С;
15 – направление ветра

Рисунок 3 – Априорная диаграмма рангов климатических факторов

Воздействия климатических факторов вызывают определенные типичные отказы, ускоряют потоки отказов, возникающих в результате случайных перегрузок, снижают сопротивление усталости большинства материалов, ухудшают режимы трения, акцентируют отдельные структурные и детальные ошибки, допущенные при проектировании и изготовлении машин. Ухудшение эксплуатаци-

онных свойств материалов, вызванное воздействием климатических факторов, снижает наработку до наступления отказов и резко повышает интенсивность пусковых и нагрузочных отказов.

Из диаграммы рисунка 3 видно, что наиболее значимое неблагоприятное воздействие оказывают низкие и высокие температуры в зоне эксплуатации, а также их суперпозиция, называемая континентальностью климата.

***Низкие температуры*** воздуха существенно влияют на свойства конструкционных и эксплуатационных материалов и на показатели надежности машин в целом (рисунок 4).

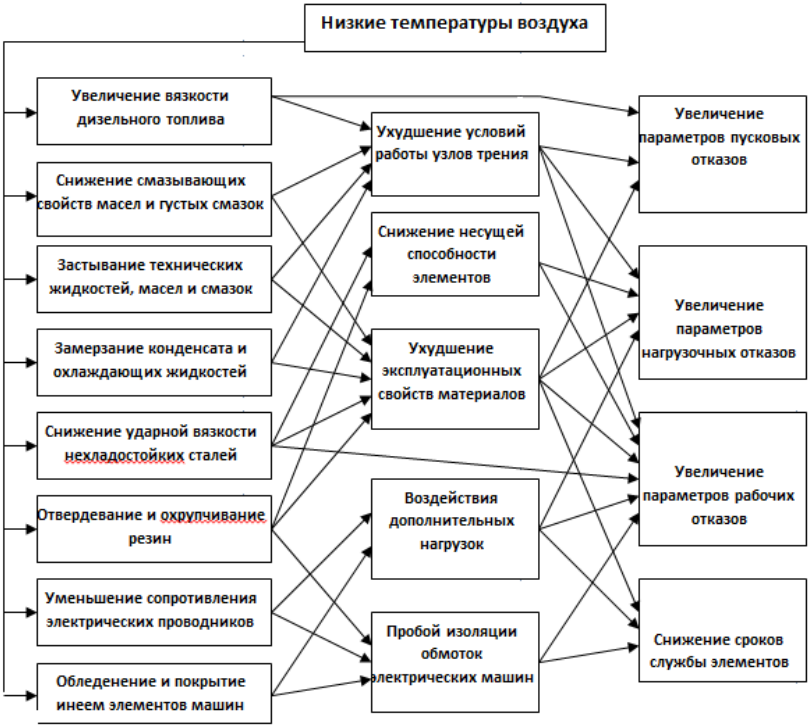



Рисунок 4 – Общая схема влияния низких температур воздуха на свойства материалов и отказы машин

Главной причиной увеличения параметра потока отказов машин в холодное время года являются хрупкие разрушения металличе-

ских деталей и элементов конструкций из металлов, полимерных материалов и, в отдельных случаях, из резин. Эти разрушения – следствие перехода материала деталей из вязкого в хрупкое состояние при определенных низких температурах (возникновение низкотемпературной хрупкости материалов).

С использованием результатов рангового анализа и уравнения (2) формула для определения технической жесткости холодного климата в баллах примет вид (3):

$$N_{к} = \left(0,75t_{\min ср} + 0,25t_{\min абс}\right)\left(1+0,015\sigma_{x}\right)\left(1+0,07\upsilon_{x}\right)\times \\ \times\left(1+0,26\varphi_{x}\right)\left(1+0,014n_{т.м.}\right)\left(1+0,022\tau_{x}\right), \quad (3)$$

где $t_{\min ср}$ – среднее значение минимальных температур воздуха за три наиболее холодных месяца, °С; $t_{\min абс}$ – среднее значение абсолютного минимума температуры воздуха за три наиболее холодных месяца, °С; $\sigma_x$ – средний непериодический размах суточных колебаний температуры воздуха за три наиболее холодных месяца, °С; $\upsilon_x$ – средняя скорость ветра за три наиболее холодных месяца, м/с; $\varphi_x$ – среднее значение относительной влажности воздуха за три наиболее холодных месяца в долях единицы; $n_{т.м.}$ – среднее значение за месяц числа дней с туманом и метелью за три наиболее холодных месяца; $\tau_x$ – продолжительность действия в месяцах средней температуры воздуха ниже нуля.

На основании рангового анализа и анализа влияния климатических факторов жаркого влажного климата на свойства материалов и надежность машин математическая модель для определения технической жесткости жаркого сухого климата в баллах примет следующий вид (4):

$$S_{к.с.} = \left(0,55t_{\max ср} + 0,20t_{\max абс}\right)\left(1+0,01Q_{т}\right)\left(1+0,0075\sigma_{т}\right)\times \\ \times\left(1-0,03\upsilon_{т}\right)\left(1+\frac{0,08}{\varphi_{т}}\right)\left(1+0,009n_{б.т.}\right)\left(1+0,012\tau_{т}\right), \quad (4)$$

где $t_{\max ср}$ – среднее значение максимальных температур воздуха за три наиболее теплых месяца, °С; $t_{\max абс}$ – среднее значение абсолютного максимума температуры воздуха за три наиболее теплых месяца, °С; $Q_т$ – среднее значение месячной суммы суммарной сол-

нечной радиации за три наиболее теплых месяца; $\sigma_т$ – средний непериодический размах суточных колебаний температуры воздуха за три наиболее теплых месяца, °С; $\upsilon_т$ – средняя скорость ветра за три наиболее теплых месяца, м/с; $\varphi_т$ – среднее значение относительной влажности воздуха за три наиболее теплых месяца в долях единицы; $n_{б.т.}$ – среднее значение за месяц числа дней с пыльной бурей и туманом за три наиболее теплых месяца; $\tau_т$ – продолжительность действия в месяцах средней температуры воздуха выше 0 °С.

Определение значимости каждого фактора с выделением существенных факторов и отсеиванием несущественных позволяет создать адекватные математические модели технической жесткости климата и погоды. Оценка степени согласованности экспертных оценок с помощью коэффициентов конкордации $W$ и парной ранговой корреляции $R$ по Спирмену показала хорошую согласованность этих оценок $\left( W = 0,735,\ R = \dfrac{0,44}{0,88} \right)$. Проверка этих коэффициентов по критерию $\chi^2$ показала их значимость с вероятностью 0,99.

В таблице 2 приведены ранжированные данные [1, 4], в балльной шкале оценивающие техническую жесткость климата в общем диапазоне его изменения – от маложесткого до наиболее жесткого. Баллы технической жесткости отдельно приведены для холодного и жаркого климата. Это позволяет констатировать, что максимальное дополнительное повреждающее воздействие оказывает эксплуатация в условиях холодного климата.

Таблица 2 – Техническая жесткость климата

| Климат | Баллы технической жесткости климата | |
|---|---|---|
| | холодного | жаркого |
| Маложесткий | 0–30 | 0–15 |
| Умеренно жесткий | 31–60 | 16–25 |
| Жесткий | 61–90 | 26–35 |
| Очень жесткий | 91–120 | 36–45 |
| Наиболее жесткий | 121–170 | 46–60 |

***Континентальность климата*** является одной из главнейших его характеристик, оказывающих существенное влияние на показатели надёжности машин. Континентальность характеризуется го-

довыми размахами температуры воздуха. Чем больше эти размахи, тем выше континентальность климата. В районах высокой континентальности климата они могут доходить до 100 °С (районы Якутска, Оймякона и др.). Поскольку размах является суммой амплитуд положительных и отрицательных температур воздуха, это особенно усложняет процесс создания машин, надежно работающих и в экстремально холодных, и в экстремально жарких условиях.

Континентальность климата определяется по формуле (5):

$$k = \frac{A_{\text{Г}}}{\varphi} \cdot 100\% \qquad (5)$$

где $A_{\text{Г}}$ – годовой размах температуры воздуха; φ – географическая широта.

В результате проведенного анализа следует констатировать необходимость корректировки периодичности технических обслуживаний, которые завод-изготовитель, как правило определяет для климатической зоны собственной локации [4]. Эта оценочная зависимость определяется по формуле (6):

$$T_{PTO.CP} = T_{TO.Ж} \cdot K_K \cdot K_{Ж.CP} / K_{НЖ.CP}, \qquad (6)$$

где $T_{PTO.CP}$ – средняя реальная периодичность ТО с учетом климатического фактора; $T_{TO.Ж}$ – периодичность ТО для жесткого климата; $K_{\text{К}}$ – эмпирический коэффициент учета фактора континентальности климата; $K_{Ж.CP}$ – среднее значение балла технической жесткости жесткого климата; $K_{НЖ.CP}$ – среднее значение балла технической жесткости наиболее жесткого климата.

Аналогично производится нормирование расхода запасных частей.

Список использованных источников

1. Щурин, К.В. Надежность машин: Учебное пособие / К.В. Щурин. – СПб. : Издательство «Лань», 2019. – 592 с.

2. Кох, П.И. Климат и надежность машин / П.И. Кох. – М. : Машиностроение, 1981. – 175 с.

3. ГОСТ 16350-80. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей.

4. Технический сервис машин и основы проектирования предприятий: учеб. для вузов / М.И. Юдин [и др.]. – Краснодар : Совет. Кубань, 2007. – 968 с.

**Abstract.** The results of a comparative analysis of the potential of the operability of mobile machines during operation in various climatic conditions are. A method for correcting the frequency of maintenance is proposed.

УДК 631.531.011.3:53

**Городецкая Е.А.,** кандидат технических наук, доцент
*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

## ФАКТОРЫ НАДЕЖНОСТИ В ЭКСПЛУАТАЦИИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕПАРАТОРОВ

***Аннотация:*** *предлагается применение диэлектрической сепарации как метод получения семян высшей категории, т.к. их очистка на механических ситах становится все более неэффективной. Одновременно этот способ позволяет снизить импорт семян и нагрузку на высевающие агрегаты. Электросепараторы обладают высокой готовностью к работе и надежны в эксплуатации*

Перерабатывающие организации агропромышленного комплекса, в том числе и хозяйства-производители, постоянно решают важнейшую народнохозяйственную задачу – как не только получить и собрать «Белорусский Каравай», но и сохранить, переработать его и реализовать без потерь потребителю.

Основа любого урожая – семена, почти весь объем закрывают разработки отечественных селекционеров. В Беларуси высокий уровень селекции и семеноводства сельхозкультур за счет научной базы по селекции и использования современных методов, в ЕАЭС рекомендованы к производству сорта пшеницы и тритикале белорусской селекции. К примеру, обеспеченность своим материалом основных зерновых колосовых культур – более 90%, тем не менее завозится много семян из-за границы.

В Западных странах разработаны дорогостоящие и высокопродуктивные машины, устройства и технологии, реализующие получение семян категории Экстра. Специалисты постсоветского пространства предлагают не менее эффективные конструкции и технологии, обладающие научной, патентной и практической оригинальностью. Речь идет о конкурентноспособном устройстве разделения сыпучих смесей, в том числе семенного вороха, и выделении высокосодержащих фракций (продуктивных семян). Представляемый нами диэлектрический сепаратор призван разделять не только сухие сыпучие мелкодисперсные смеси, прежде всего семена, с учетом их электрических свойств и получением фракций гарантированного качества и нужных свойств. Например, внедрение диэлектрического сепарирующего устройства (ДСУ) в технологических линиях увеличивает выход нужного продукта за счет более полного извлечения его из исходной смеси.

Диэлектрические сепарирующие устройства семян всех сельскохозяйственных культур, изучением и разработкой которых занимаются специалисты УО «БГАТУ», обладают универсальностью, простотой конструкции и высокой эксплуатационной готовностью. Эти работы поддерживаются грантами Белорусского Республиканского фонда фундаментальных исследований. Для более широкого внедрения диэлектрических сепарирующих устройств в семеноводческих организациях и селекционных центрах Республики Беларусь необходимо выполнить все стадии проектно-конструкторских работ с привлечением опытного или серийного производства этих устройств в нашей стране. Это стало бы достойной заменой и упрощением технологических линий в семеноводстве и селекционной деятельности, пищевом, крахмальном, фармацевтическом, мукомольном и комбикормовом производствах.

Конструкция диэлектрических сепараторов проста, они собираются из типового отечественного электротехнического оборудования, имеют высокую готовность к работе и надежны в течение многих лет при выполнении простейших правил эксплуатации.

Нашими исследованиями определены методы и средства, реализующие разделение частиц сыпучих смесей. Разделение в электрическом поле происходит либо при наличии различий в диэлектрических проницаемостях, либо при наличии различий в динамике поляризации и деполяризации частиц, что обусловливается их различным биохимическим составом, но имеющих подобные физико-

механические свойства. Установлено, что в ДСУ смеси разделяются по совокупности механических, биохимических и, отсюда – электрических свойств /1/. Нами проведена электросепарация семян, показавшая четкость разделения и высокое качество полученных фракций. Использование электросепарирующего устройства в переработке сельскохозяйственной продукции на стадии очистки и получения гомогенных фракций позволяет значительно упрощать технологические линии, экономить электроэнергию, получать новые диетические продукты и товары международной классификации, сократить закупки посевного материала.

Наши исследования натолкнули на вывод, что при толщине пленочного покрытия бифилярной обмотки барабана диэлектрического сепарирующего устройства, находящейся в пределах 0,03…0,06 мм, и при напряжении от 1,2 кВ и выше, происходит четкое разделение семенного вороха мелкосемянных культур – укропа, тмина – в первую фракцию попадают чистые семена, что, кстати, является энергосберегающим режимом работы устройства. Биохимический анализ таких фракций показывает высокое содержание основных веществ, что полностью соответствует значениям литературных данных [2, 3] и позволяет говорить о двух вещах: неизменности нативных свойств семян и соответствия технологических параметров устройства и процесса. Содержание полезных веществ в первой фракции семян выше, чем в исходной за счет того, что сепарация происходила четко и получена чистая фракция семян, без иных включений (пыль, остатки упаковки, мусор, растительные остатки после обмолота).

Экспериментальные данные получены нами впервые, обладают научной и практической значимостью, так как позволяют разрабатывать пищевые технологии с использованием семян укропа и тмина, получаемых на таком диэлектрическом сепарирующем устройстве, в качестве пищевого ингредиента.

Выпуск диэлектрических сепарирующих устройств и широкое внедрение их в работе с семенами в Республике Беларусь стало бы прорывным направлением. За счет воздействия электромагнитного поля на семена повышается их всхожесть и устойчивость к болезням, ускоряется сортовыведение, производится фракция семян Экстра, снижается нагрузка на высевающие аппараты, повышается однородность семенных фракций, использующихся в пищевом производстве, появляется статья экспортной деятельности (и диэлектрические сепараторы, и семена) и замена дорогостоящего

иностранного оборудования. Повышается престиж страны и ее продовольственная независимость.

Список использованных источников

1. Городецкий, Ю. Методики исследования рабочего органа диэлектрического сепаратора при получении чистых семян пряно-ароматических растений / Ю.К. Городецкий, В.В. Литвяк // Техника и технология пищевых производств: материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф., 23–24.04.2020, в 2-х т., Могилев / Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия»; редкол.: А.В. Акулич (отв. ред.) [и др.]. – Могилев: МГУП, 2020. – Т. 2. – 493 с.

2. Городецкий, Ю.К. Исследование морфологических особенностей поверхности семян кориандра, укропа и тмина / Ю.К. Городецкий, В.В. Литвяк // Вестник МГУП. – Могилевский государственный университет продовольствия. Могилев. – № 2. – 2020. – С. 72–82.

3. Городецкая, Е.А. Влияние толщины пленочного покрытия рабочего органа на показатели качества семян при диэлектрической сепарации / Е.А. Городецкая, В.В. Литвяк, Т.А. Непарко // Агропанорама. – 2021. – № 6. – С. 22–25.

**Abstract:** the use of dielectric separation is proposed as a method for obtaining seeds of the highest category, since their cleaning on mechanical sieves is becoming more and more inefficient. At the same time, this method allows to reduce the import of seeds and the load on the sowing units. Electric separators are highly ready for operation and reliable in operation

УДК 621.9.04

**Стребков С.В.,** кандидат технических наук, профессор
*ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», г. Белгород, Российская Федерация*

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ АНКЕРА ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЯ

***Аннотация.*** *Анализ изнашивания наконечника в условиях эксплуатации показал, что предельное состояние наступает при по-*

*тере в среднем 8,5 % массы наконечника по весовому износу. Результаты микрометрирования показали выход в предельное состояние по линейному изменению параметра «носок-пятка» в среднем при 9,7 %, а по параметру «носок-переднее отверстие» – в среднем при 16 % от значений нового анкера. Установлено неполное использование ресурса наконечника глубокорыхлителя при его замене согласно рекомендациям производителя. Предложенная технология восстановления наконечника на 47 % дешевле приобретения новых. При этом их ресурс увеличивается на 50 %.*

Современные технологии обработки почвы при возделывании сельскохозяйственных культур нацелены на снижение механического воздействия за счет обоснованного уменьшения количества технологических операций, а также совмещения нескольких операций на технологической платформе одного машинотракторного агрегата, выполняемых за один проход [1-3].

Одним из направлений снижения воздействия на почву является исключение оборота пласта при сплошной обработке почвы (вспашке) [4]. Для этого используют глубокорыхлители различной конструкции. Общим элементом для них являются рабочие органы – металлоемкие стойки с режущими и дробящими поверхностями. В связи с тяжелыми условиями работы, включающими в себя большую массу агрегата, высокие динамические нагрузки и интенсивное абразивное изнашивание, они определяют безотказность, долговечность и ремонтопригодность конструкции [5, 6].

При возникновении отказа необходимо восстановить работоспособное состояние детали, узла или агрегата. Существующая система сводится к дилерскому обеспечению запасными частями и расходными материалами. В этом случае резко возрастают эксплуатационные затраты на поддержание техники в работоспособном состоянию. Результаты опытного восстановления деталей зарубежной техники показал, что применение различных технологий позволяет снизить себестоимость запасных частей. К тому же, повторное их использование позволяет во многом решать и экологические проблемы машиностроения [7, 8].

**Материалы и методы (Materials and methods)**

Для глубокорыхлителя РИППЕР-512 (рисунок 1) характерна двухэлементная конструкция рабочего органа, включающая в себя

стойку, обеспечивающую несущую способность, и съемный наконечник, предназначенный для рыхления почвы на глубине до 60 см. Наконечник непосредственно контактирует с абразивом почвы при большом контактном давлении и, в связи с этим, является «слабым» элементом конструкции с ресурсом, значительно меньшим чем ресурс стойки, отказ которой происходит из-за усталостного или катастрофического разрушения.

Рисунок 1 – Глубокорыхлитель JOHN DEERE 512 DISK RIPPER с расположением анкера

Конструкцией РИППЕР 512 предусмотрено повышение надежности за счет обеспечения высокого уровня ремонтопригодности. Это проявляется в замене быстроизнашиваемого элемента – анкера (наконечника), а не всей стойки. Он поставляется дилером в качестве запасных частей с высокой добавочной стоимостью. Однако, ресурс их не увеличен и заводами-изготовителями не предусмотрены мероприятия по повышению износостойкости. Ресурс обеспечивает конструкционный материал – высокопрочный чугун, из которого изготовлен наконечник методом литья. Для оценки возможности проведения реновационных мероприятий проведен ряд исследований.

Анализ изнашивания наконечника в условиях эксплуатации показал (рисунок 2), что предельное состояние наступает при потере в среднем 8,5 % массы наконечника по весовому износу. Результаты микрометрирования показали выход в предельное состояние по линейному изменению параметра «носок-пятка» в среднем при 9,7 %, а по параметру «носок-переднее отверстие» – в среднем при 16 % от значений нового анкера. Следовательно, очевидным фактом является наличие 84–90 % неиспользованного остаточного ресурса анкера.

Рисунок 2 – Вид нового и изношенного анкера

В лаборатории восстановления изношенных деталей Белгородского ГАУ разработана технология фронтальной наплавки отжигающими валиками с применением термообработанных элементов [9] при восстановлении наконечников рабочих органов глубокорыхлителя РИППЕР 512. При данной технологии деталь восстанавливается до номинальных параметров. Наплавку проводили в среде защитного (углекислого) газа полуавтоматическим сварочным аппаратом с использованием самофлюсующейся проволоки типа ПГСР. В качестве термоупрочненного элемента взята полоса из рессорной стали после термообработки с твердостью HRC50…55 единиц. В процессе наплавки специальным приемом «отжигающих валиков» исключается возможность «отбеливания» чугуна и образование термоусадочных трещин. По окончанию формирования недостающей части анкера поверхность, соприкасающуюся с абразивом, наплавляли износостойким материалом с использованием электродов Т590.

Восстановленные анкеры по всем геометрическим параметрам соответствовали номинальным размерам нового (рисунок 3).

Рисунок 3 – Анкер первого восстановления и их полный комплект

После восстановления и упрочнения изменяется характер процесса изнашивания (рисунок 4). Скорость изнашивания фронтальной части снижается, обеспечивая при этом реализацию эффекта «самозатачивания». Это приводит к уменьшению удельного сопротивления рабочего органа.

Рисунок 4 – Изменение характера износа анкера

В ходе отработки технологического процесса проверяли возможность повторного восстановления поверхности анкера. Отличие технологического процесса при втором и третьем восстановлении поверхности заключается в количестве наносимого наплавочного материала. При третьем восстановлении его на 3…5 % больше (рисунок 5). Установлено, что режущая поверхность анкера после третьего восстановления изнашивается в 1,15 раза медленнее, чем анкера после второго восстановления (рисунок 6). Связано это с металлургическими процессами при неоднократной наплавке.

Рисунок 5 – Вид анкера после второго и третьего восстановления

Рисунок 6 – Вид изношенных анкеров после второго и третьего восстановления

Однако, целесообразность восстановления теряется при весовом износе на 28...32 % от массы нового анкера. Это связано уже с износом не фронтальной поверхности резания и крошения, а с потерей массы боковых поверхностей анкера и его «крыльев». Остатки ранее восстановленной и упрочненной поверхности видны на рисунок 7. В этом случае полностью нарушается процесс рыхления.

Рисунок 7 – Вид предельно изношенного акера, не подлежащего восстановлению

Эксплуатация в реальных условиях СПК «Сукмановка» Белгородской области показали увеличение ресурса с 600 га до 900 га при глубине обработки 25…30 см на суглинистых и супесчаных почвах.

**Выводы (Conclusions)**

Таким образом, установлено неполное использование ресурса анкера (наконечника) глубокорыхлителя при его замене согласно рекомендаций производителя. Наличие остаточного ресурса детали по массе позволяет неоднократно восстанавливать ее работоспособное состояние. Предложенная технология восстановления наконечника фронтальной наплавкой отжигающими валиками с применением термообработанных элементов и последующим нанесением износостойкого покрытия делает анкеры при первом восстановлении на 47% дешевле новых. Реновация наконечников увеличивает их ресурс на 50...54 %%. Третье и последующее возобновление ресурса обеспечивает получение сверхприбыли за счет полной амортизации анкеров.

Список использованных источников

1. Скурятин Н.Ф. Ресурсосбережение при посеве зерновых культур. [Текст] / Н.Ф. Скурятин, А.П. Захаржевский, А.С. Новицкий, А.Л. Жиляков, А.В. Бондарев. – Москва : Белгород : «ОАО «Центальный коллектор библиотек «БИБКОМ», 2015. – 334 с. – ISBN 978-5-905563-55-3.

2. Скурятин Н.Ф. Методы повышения эффективности использования тракторных транспортно-технологических агрегатов [Текст] / Н.Ф. Скурятин, А.В. Бондарев, Б.С. Зданович, Е.В. Соловьев, С.В. Соловьев. – Москва; Белгород: ООО «Центральный коллектор библиотек «БИБКОМ», 2017. – 161 с.

3. Новые технические решения для комбинированного посева зерновых культур : монография. / Н.Ф. Скурятин, А.В. Бондарев, А.С. Новицкий, А.Л. Жиляков, А.С. Куликов. – Москва; Белгород: ООО «Центральный коллектор библиотек «БИБКОМ», 2018. – 144 с. – ISBN 978-5-905563-96-6.

4. Казаков, К.В. Зарубежная сельскохозяйственная техника: Монография [Текст] / К.В. Казаков, А.Н. Макаренко, И.В. Мартынова, А.В. Мачкарин, К.Н. Путиенко, А.В. Рыжков, Ю.В. Саенко, О.А. Чехунов - Москва; Белгород: ООО «Центральный коллектор библиотек «БИБКОМ», 2016. – 200 с.

5. Водолазская Н.В. Надежность и эксплуатация технических систем : монография/ Н.В. Водолазская, С.В. Стребков. – Белгород: Издательство «ЗЕБРА», 2017. – 152 с. . – ISBN 978-5-905689-67-2.

6. Слободюк А.П. О причинах разрушения пружинных стоек дискаторов/ А.П. Слободюк // Инновации в АПК: Проблемы и перспективы: сб. науч. тр. ФГБОУ ВПО БелГСХА им. В.Я. Горина. №2. – Белгород: БелГСХА, 2014. – С. 27–41.

7. Strebkov, Sergey. Economic evaluation of recovery of parts of foreign equipment by gas-dynamic spraying / Sergey Strebkov, Aleksandr Turyanskiy, Andrey Bondarev, Alexey Slobodyuk //17th International Scientific Conference ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT Proceedings. May 23-25, 2018. 2018. Volume 17. – P.1334-1345. http://tf.llu.lv/conference/proceedings2018. DOI: 10.22616/ERDev2018.17.N130 ISSN 1691-597. 6. /DOI: 10.22616/ERDev2018.17.N130 ISSN 1691-5976.

8. Strebkov, Sergey/ Economic assessment of the recovery of aluminum radiator by gas-dynamic spraying / Sergey Strebkov, Andrey Bondarev, Alexey Slobodyuk //18th International Scientific Conference ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT Proceedings, May 22-24 2019. Volume 18. – P. 1772-1779. DOI:10.22616/ERDev2019.18. N178 ISSN 1691-5976. http://tf.llu.lv /conference/proceedings2019.

9. Стребков С.В., Сахнов А.В. Технология ремонта машин : учеб. пособие. – М. : ИНФРА-М, 2019. – 222 с. – (Высшее образование: Бакалавриат). www/dx/doi/org/10/12737/21917/. ISBN 978-5-16-012288-5 (print), ISBN 978-5-16-105182 (online).

**Abstract**. Modern technologies of soil cultivation during the cultivation of agricultural crops are aimed at reducing mechanical action due to a justified reduction in the number of technological operations, as well as combining several operations on the technological platform of one machine-tractor unit, performed in one pass. One of the ways to reduce the impact on the soil is to exclude formation turnover during continuous tillage (plowing). For this, deep-rippers of various designs are used. The common element for them are working bodies – metal-intensive racks with cutting and crushing surfaces. Due to the difficult working conditions, including a large mass of the unit, high dynamic loads and intense abrasive wear, they determine the failure-free, long-eternity and maintainability of the structure. The presence of the residual resource of the part by mass allows it to repeatedly restore its operational state. The proposed technology reconditioned tips are 47 % cheaper than acquiring new ones. Moreover, their resource is increased by 50 %.

УДК 621.791.927.042

**Большаков В.И.**[1], кандидат технических наук, доцент;
**Федоров О.С.**[1]**,** кандидат технических наук, доцент;
**Ваганов Д.И.**[2]**,** ассистент
[1]*ФГБОУ ВО «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия», г. Ижевск, Российская Федерация*
[2]*ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», г. Ижевск, Российская Федерация*

# МИКРОСТРУКТУРНЫЙ И ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАПЛАВЛЕННЫХ СЛОЕВ МЕТАЛЛА ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ

**Аннотация** *Выполнены экспериментальные исследования качества сплавления наплавленного слоя с основным металлом при линейной скорости наплавки 0,8…1,1 м/с. Проведены спектральный и химический анализы наплавленных слоев металла.*

Обычные, широко используемые в промышленности различные способы сварки и наплавки в основном имеют линейную скорость наплавки в пределах 25…50 м/ч. Критической скоростью сварки и

наплавки является 70 м/ч. Недостатком этих способов является, то что эти способы разработаны для формирования слоев металла с глубоким проплавлением основы с целью получения качественного сплавления слоя с основой.

В условиях работы ремонтных предприятий зачастую не требуется нанесение толстых слоев наплавленного металла так как величина износов свыше 83 % деталей не превышает 0,3 мм. При нанесении слоя большей толщины примерно 95 % металла приходится срезать твердосплавными инструментами с последующим шлифованием поверхности детали до размеров согласно техническим условиям, тем самым увеличиваются затраты на восстановление детали.

Диапазон размеров большинства посадочных мест валов и осей сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей под сальники, кольца подшипников лежит в пределах 30…40 мм. И в этих условиях актуальными и востребованными являются способы получения покрытий и технологии, обеспечивающие нанесение тонких слоев с небольшой глубиной зоны термического влияния при высокой производительности процесса. К такому способу получения наплавленных слоев следует отнести способ электродуговой наплавки цилиндрических поверхностей [1] (рисунок 1).

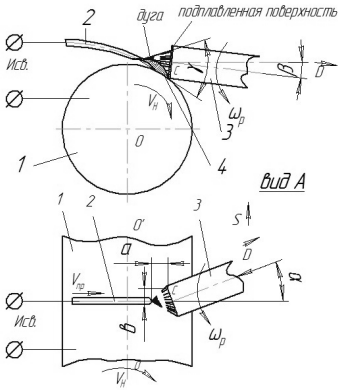



Рисунок 1 – Схема высокоскоростной электродуговой наплавки [1]:
1 – деталь; 2 – электродная проволока; 3 – экран-стержень;
4 – расплавленная поверхность детали; $a$ и $b$ – параметры точки касания стержня-экрана; $\alpha$ и $\beta$ – углы расположения стержня-экрана в пространстве;
$V_H$ – скорость наплавки; $S$ – шаг наплавки; $D$ – усилие поджатия стержня-экрана

Согласно этому способу, наплавка шеек вала выполняется в следующей последовательности. В зону наплавки подается самозащитная электродная проволока Св-15ГСТЮЦА касательно к поверхности изделия с некоторым изгибом по радиусу. Сварка (наплавка) выполняется на постоянном токе прямой полярности. В момент касания электродной проволоки к поверхности детали зажигается электрическая дуга. Одновременно с подачей электродной проволоки включается вращение и подача стержня-экрана, подаваемого в зону горения дуги. При горении электрической дуги капли расплавленного металла электродной проволоки за счет магнитного дутья, сил инерции вращающейся детали, давления паров, газов и самой дуги выбрасываются в направлении вращения детали под углом $\gamma = 60^{o}$ [4] с при линейных скоростях наплавки $V_H$ = 0,8…1,1 м/с и шаге наплавки S = 0,48…0,52 мм/об. Расплавленные капли металла попадают на торцевую часть стержня-экрана, расположенного под углами $\alpha$ и $\beta$ в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Линия касания торцевой части стержня-экрана с поверхностью детали определяются параметрами $a$ и $b$.

Капли расплавленного металла электродной проволоки и сама электрическая дуга подплавляют торцевую часть вращающегося вокруг своей оси стержня – экрана подаваемого в зону горения дуги с усилием $P$.

При вращении стержня – экрана происходит перенос капель металла электродной проволоки и стержня электрической дугой на поверхность детали, происходит натирание электродных материалов и формирования слоя толщиной 0,9…1,1 мм. Наплавка выполняется на открытом воздухе, поэтому часть металла уходит на угар разбрызгивание. Способ обеспечивает высокую производительность процесса до 270 см$^2$/мин при небольшой глубине зоны термического влияния с различными физико-механическими характеристиками слоя (20…60 HRC$_э$) с прочностью сплавления наравне с основным металлом [3,5].

Качественному формированию слоя при высоких скоростях наплавки способствуют стержень – экран, обеспечивающим равновесие сил давления дуги и жидкого столба ванны за счет механического воздействия торцевой части стержня усилием P, контактирующего с поверхностью изделия для обеспечения нормального формирования шва [5,6].

В данной статье, как наиболее приемлемыми и обеспечивающими высокое качество, твердость и износостойкость, приведены лишь результаты наплавленного слоя Св-15ГСТЮЦА + сталь ХВГ.

Наплавка образцов выполнялась на детали из стали 45 диаметром 40 мм, на режимах, приведенных в работе [4] согласно предоставленной схеме [1,2,4,5] (см. рисунок 1).

С целью объяснения характера структуры, показателей твердости износостойкости наплавленного слоя, металл наплавки подвергался спектральному и химическому анализу. Спектральным анализом выявлялось содержание в слое основных элементов, как Si, Mn, Cr, W, а содержание углерода определялось химико-аналитическим методом для определения содержания углерода в слое наплавки производился отбор проб в соответствии с ГОСТ 7122-75.

Спектральный анализ элементов слоя по глубине наплавки проводился на образцах после вскрытия слоя эксцентричным шлифованием в 5мм на шлифовальном станке 3М-151В с использованием специального спектрографа с генератором возбуждения.

Результаты химического и спектрального анализов представлены в таблице 1.

Структура шейки вала после наплавки электродной проволокой Св-15ГСТЮЦА и стержнем-экраном из стали ХВГ представлена на рисунке 2 при увеличении макроструктуры в 2 раза и при 300 – кратном увеличении наплавленного слоя, зоны сплавления, термического влияния и основного металла стали 45 (рисунок 2).

Таблица 1 – Переход основных элементов материалов сварочной проволоки Св-15СГСТЮЦА и стержня – экрана из стали ХВГ в наплавленный слой

| Материал наплавки | Среднее суммарное содержание элементов, % | | | | | Переход основных элементов наплавочных материалов в слое, % | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | в наплавочных материалах | | | | | | | | | |
| | в наплавленном слое | | | | | | | | | |
| Св-15ГСТЮЦА + сталь ВХГ | *Si* | *Mn* | *C* | *Cr* | *W* | *Si* | *Mn* | *C* | *Cr* | *W* |
| | 0,77 | 1,55 | 1,15 | 1,24 | 1,20 | 39,0 | 33,5 | 48,7 | 47,6 | 54,2 |
| | 0,30 | 0,52 | 0,56 | 0,59 | 0,65 | | | | | |

Фиксирование макроструктуры производили фотографированием, а микроструктуры предварительным травлением шлифов в 2 % растворе азотной кислоты в этиловом спирте при увеличении микроструктуры наплавленного слоя в 100 или 300 раз.

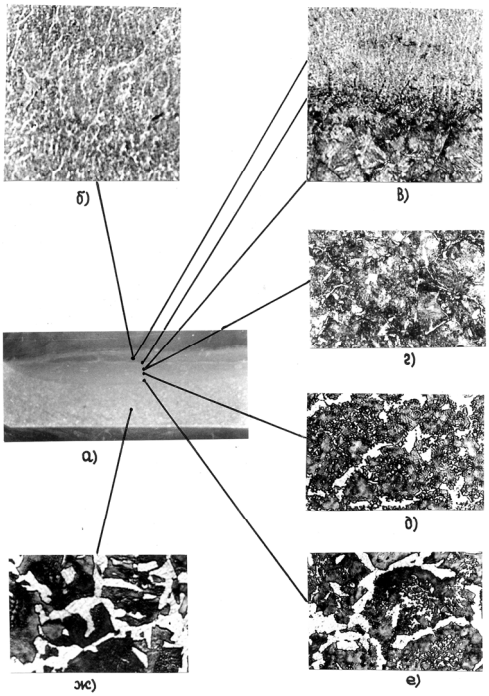



Рисунок 2 – Структура шейки вала после наплавки электродной проволокой Св-15ГСТЮЦА и торцевым роликом из стали ХВГ:
а) макроструктура слоя вдоль оси детали, увеличение в 2 раза;
б) микроструктура наплавленного слоя, увеличение в 300 раз;
в) микроструктура зоны сплавления, увеличение в 300 раз;
г), д), е) микроструктуры зоны термического влияния, увеличение в 300 раз;
ж) микроструктура основного металла стали 45, увеличение в 300 раз.

Исследования темплетов наплавленных электродной проволокой Св-15ГСТЮЦА стержнем-экраном из стали ХВГ глубокой прокаливаемости, имеющем в своем составе такие элементы как хром вольфрам и другие в сочетании углеродом, способствуют получению слоя высокой твердости $H^{100}_{\mu}$ = 613…824 кГс/мм$^2$. При этом микроструктура состоит из мартенсита, троостомартенсита и тонкой ферритной сетки. Зона сплавления и термического влияния характеризуется пониженной твердостью $H^{100}_{\mu}$ = 300…408 кГс/мм$^2$ и промежуточными превращениями.

Микроструктурный анализ указывает на качественное формирование наплавленного слоя по всей поверхности слоя и надежное сплавление слоя с основой детали глубиной проплавления в 1,0…1,5 мм. без существенных структурных изменений основы детали;

Список использованных источников

1. А.с. 1085115 СССР, в 23 к9/04 Способ электродуговой наплавки цилиндрических деталей / Дудник Ж.А., Большаков В.И.; Челябинский Ордена Трудового Красного Знамени институт механизации и электрификации сельского хозяйства – №3476347 / 25–27; заявл. 30.07.82. Зарег. в Гос. реестре изобретений СССР 8 декабря 1983 г. – 9 с.

2. Большаков, В.И. Восстановление шеек валов стальных и чугунных деталей высокоскоростной электродуговой наплавкой / В.И. Большаков // Вестник Ижевской ГСХА. – 2014. – №1 (38) – С. 38–40.

3. Большаков, В.И. Определение угла распыла электродной проволоки при высоких скоростях наплавки / В.И. Большаков, С.Н. Шмыков, Д.И. Ваганов // Вестник Ижевской ГСХА. – 2022. – №1 (48) – С. 48–54.

4. Большаков, В.И. Особенности формирования структуры и свойств наплавленных слоев при высокоскоростной электродуговой наплавке / В.И. Большаков, А.Г. Ипатов, Д.И. Ваганов // Ремонт, восстановление, модернизация – 2022. – №6 – С. 26–31.

5. Ленивкин, В.А. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах / В.А. Левшин, Н.Г., Дюргерев, Х.Н., Сагиров. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.

6. Патон, Б.Е. Некоторые особенности формирования швов при саврке с повышенной скоростью / Б.Е. Патон, С.Л. Мандельберг, Б.Г. Сидоренко // Автоматическая сварка. – 1971. – №8. – С. 1–6.

**Abstract.** Experimental studies of the fusion quality of the deposited layer with the base metal at a linear surfacing velocity of 0.8...1.1 m/s are performed. Spectral and chemical analyses of the deposited metal layers have been carried out.

УДК 666.3/7(075.8)

**Сергиевич О.А.**[1], кандидат технических наук;
**Колонтаева Т.В.**[2], кандидат технических наук, доцент;
**Шевченок А.А.**[3], кандидат технических наук, доцент;
**Дятлова Е.М.**[1], кандидат технических наук, доцент
*[1]УО «Белорусский государственный технологический университет»,*
*[2]Белорусский национальный технический университет,*
*[3]УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,*
*г. Минск, Республика Беларусь*

# ИЗНОСОСТОЙКИЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

***Аннотация.*** *Разработаны составы износостойких титансодержащих керамических материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками, предназначенные для использования в машиностроительной отрасли.*

Последние десятилетия характеризуются усилением внимания к проблемам трения и изнашивания материалов. Применяемые в производстве узлы трения зачастую имеют короткий срок службы из-за интенсивного изнашивания, что может привести к сбою в работе машины. В связи с этой важной научной и технической проблемой является разработка новых износостойких материалов.

Интенсивное развитие современной техники требует создания новых конструктивных материалов с высокой износостойкостью, огнеупорностью и механической прочностью. Особый интерес представляет износостойкая керамика, изделия из которой работают в условиях длительных истирающих нагрузок. Нередко износостойкие детали работают при высоких температурах, резких перепадах температуры и других осложняющих факторах.

Важнейшими компонентами современной конструкционной и инструментальной керамики являются оксиды алюминия, циркония, нитриды кремния, бора, алюминия, карбиды кремния и бора, их твердые растворы и разнообразные композиты. Актуальным направлением современных исследований является сочетание различных систем, синтез и изучение новых материалов, полученных

на их основе. Поэтому проблема разработки новых керамических материалов с улучшенными износостойкими характеристиками и пониженной температурой синтеза является очень актуальной. Рассматривают получение рутиловой, корундовой керамики, а также керамики на основе других высокотемпературных оксидов.

В последние годы наблюдается повышенный интерес к износостойким материалам на основе диоксида титана. Современные титановые керамики по прочности соединения с металлом находятся на уровне с металлокерамическими системами на основе благородных металлов или сплавов без них. Титановая керамика – керамика на основе соединений титана. Наиболее широко используется керамика на основе рутила ($TiO_2$), перовскита ($CaTiO_3$), титаната стронция ($SrTiO_3$) и титаната бария ($BaTiO_3$) [1].

В связи с этим целью данной работы является разработка составов и технологических параметров получения керамических материалов на основе диоксида титана, обладающих высокой прочностью, износостойкостью, способностью работать длительное время в условиях истирающих нагрузок.

Диоксид титана встречается в природе в виде трех основных кристаллических формах: анатаз, рутил и брукит, последний в природе встречаются редко и коммерческого интереса не представляет. Анатаз – минерал, одна из трёх природных полиморфных модификаций $TiO_2$. Кристаллизуется в тетрагональной системе. Твёрдость по минералогической шкале 5,5–6,0; плотность 3820–3950 кг/м$^3$. Химический состав: титан (Ti) 60 %, кислород (O) 40 %. Брукит – по химическому составу идентичен рутилу и анатазу. Содержит 59,94 % титана и 40,06 % кислорода. При 750 °С переходит в рутил. Рутил – аллотропная модификация диоксида титана. В виде примеси содержит закись железа, обладает алмазно-металлическим блеском, прозрачен, цвет красно-коричневый, иногда желтоватый, синеватый, фиолетовый или черный, плотность минерала 4180–4280 кг/м$^3$ [1].

При приготовлении масс, на основе анализа обзора литературы, с целью синтеза износостойкой керамики, выбрана система $TiO_2$–$R_xO_y$ при содержании $TiO_2$ более 80 %, дополнительными составляющими выбраны оксиды $Al_2O_3$, $SiO_2$, $ZrO_2$, CaO, MgO. Для повышения механической прочности износостойкой керамики вводят или $ZrO_2$

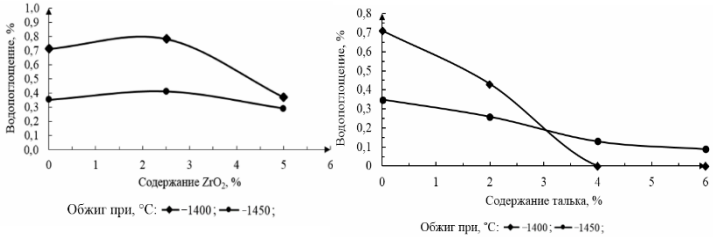
(2,5–5 %[1]), глинистые компоненты (глина, бентонит) использовались для улучшения формовочных свойств в количестве 2–3 %, для повышения спекаемости в массу вводится фторид кальция (1 %) и тальк (2–6 %). В качестве сырьевых материалов использовались: диоксид титана (ТУ 2321–001–17547702–2014); диоксид циркония (ТУ 95 2782–2001); фторид кальция (ТУ 6–09–5335–88); карбонат бария (ГОСТ 2149–75); глина огнеупорная «Керамик-Веско» Веселовского месторождения (ГОСТ 3226–93); бентонит Огланлыкского месторождения (ГОСТ 28177–89); тальк онотский (ГОСТ 21234–75).

Образцы износостойкой керамики изготавливались по технологии полусухого прессования. Предварительно подготовленные и отдозированные весовым способом согласно рецепту компоненты (500 г.) подвергались совместному сухому помолу в микромельнице «SPEEDY-1» в течение 20 мин. до остатка на контрольном сите № 0063 в количестве не более 1–2 %. Затем смесь увлажнялась до 7 % и вылеживалась в течении суток в закрытой таре с целью усреднения влажности. Образцы в виде дисков диаметром 20 мм, высотой 3 мм формовались методом полусухого прессования на лабораторном прессе при давлении 20 МПа. Сушка полуфабриката проводилась в сушильном шкафу при температуре (100±5) °С. Обжиг образцов производился в электрической лабораторной печи SNOL 1,6,2,5.1/13,5-Y1 при температурах 1350–1400 °С с выдержкой при максимальной температуре 1 ч. Скорость подъема температуры составляла 250 °С/ч. Были исследованы физико-химические свойства образцов и установлена их зависимость от состава и температуры обжига.

Установлено, что с повышением температуры обжига пористость и водопоглощение образцов уменьшаются. Это объясняется тем, что с ростом температуры обжига усадка образцов увеличивается вследствие более полного спекания, нарастания количества жидкой фазы и сближения частиц под действием капиллярных сил и сил поверхностного натяжения. В первую очередь растворяются мелкие кристаллы и выпуклые участки других кристаллов, т.е. осуществляется перенос веществ через расплав, при этом укрупняются кристаллы, сглаживаются их поверхности, что обеспечивает уплотнение системы и увеличение усадки с ростом температуры обжига.

[1] здесь и далее по тексту содержание приведено в массовых процентах.

Зависимость водопоглощения образцов от количества вводимых добавок и температуры обжига представлена на рисунке 1 (а, б).




а) б)

Рисунок 1 – Зависимость водопоглощения опытных образцов от количества добавок и температуры обжига: а – $ZrO_2$, б – тальк

Активизация спекания связана с интенсификацией процессов переноса вещества и увеличения количества расплава, способного к вязкому течению, в результате чего уменьшаются пористость и водопоглощение образцов, возрастает их плотность. С увеличением содержания $ZrO_2$ пористость и водопоглощение материала уменьшается, а кажущаяся плотность соответственно увеличивается. Несмотря на высокую температуру плавления, оксид циркония при спекании участвует в диффузионном переносе вещества, способствуя повышению плотности и снижению пористости спекаемой системы. С введением талька водопоглощение опытных образцов составляет менее 1 %, оксид магния активизирует процесс спекания, поэтому пористость и водопоглощение несколько уменьшаются. Однако, изменение кажущейся плотности носит сложных характер, она при увеличении содержания талька также несколько снижается, что вероятно можно объяснить уменьшением истинной плотности образцов при введении MgO с небольшой молекулярной массой по сравнению с $TiO_2$.

Механическая прочность при сжатии опытных образцов находилась в пределах 615–632 МПа, наблюдалось небольшое (на 3–5 МПа) увеличение прочности при повышении температуры спекания до 1450 °С, а добавки практически не повлияли на ее показатели.

Как известно, износостойкость материала зависит от твердости его поверхности. Этот показатель опытных образцов оценивался по шкале Мооса и значениям микротвердости. Установлено, что твер-

дость образцов по шкале Мооса зависит от температуры обжига, вида и соотношения кристаллической и стекловидной фаз и находится в пределах 7–8. Микротвердость образцов, обожженных при 1400 °С, колеблется в пределах 6290–8100 МПа, при 1450 °С ее значения возрастают до 7140–8410 МПа, при этом вводимые добавки $ZrO_2$ и талька не оказывают существенного влияния на показатель.

Следует отметить, что после механической обработки (шлифовки поверхности) микротвердость образцов значительно уменьшается до 4500–6400 МПа, что можно объяснить более мелкозернистой структурой поверхностного слоя, формирующегося при спекании на границе раздела фаз (Т–Г). Как известно мелкозернистые кристаллы обладают большими прочностными характеристиками, чем более крупные, которые формируются во внутренних слоях материала [2].

Все синтезированные материалы имеют высокую механическую прочность. Для образцов, обожженных при 1400 °С, прочность при сжатии составляет 616–627 МПа, а при 1450 °С повышается до 626–635 МПа. Образец материала оптимального состава имеет показатели: температура обжига – 1400 °С, кажущаяся плотность – 3630 кг/м$^3$, водопоглощение – 0,0 %, открытая пористость – 0,0 %, ТКЛР– 6,631×10$^{-6}$ К$^{-1}$, прочность при сжатии – 619,8 МПа, твердость по Моосу – 8, микротвердость – 8409,33 МПа. Фазовый состав керамики, обожженной при температуре 1400 °С, представлен рутилом и незначительными примесями перовскита (рисунок 2).

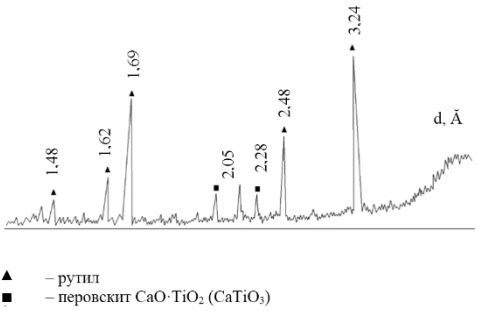
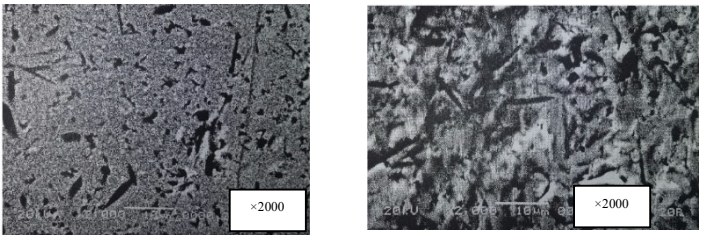



Рисунок 2 – Дифрактограмма образца оптимального состава

Результаты оптической микроскопии поверхности образца оптимального состава и внутреннего скола представлены на рисунке 3.




а) б)

Рисунок 3 – Оптическо-микроскопическое изображение поверхности (а) и скола (б) синтезированных образцов

Исследование структуры скола и поверхности опытных образцов показало, что на поверхности размер кристаллов значительно меньше, поры практически отсутствуют. Сколы образуются с более гетерогенной структурой, что проявляется в микротвердости.

Таким образом, разработанные составы титансодержащих керамических материалов могут быть использованы в электронной, химической и машиностроительной отрасли, а также для получения износостойких деталей для применения на предприятиях легкой промышленности.

Список использованных источников

1. Оксид титана. // Библиотека ГОСТов [Электронный ресурс]. – 2015.– Режим доступа: http://vsegost.com/Catalog/20/20691.shtml – Дата доступа: 15.12.2017.

2. Белый, А.В. Структура и методы формирования износостойких поверхностных слоев / А.В. Белый, Г.Д. Карпенко, Н.К. Мышкин. – М.: Машиностроение, 1991. – 208 с.

**Abstract.** Compositions of wear-resistant titanium-containing ceramic materials with improved performance characteristics have been developed for use in the machine-building industry.

УДК 631.17

**Основин В.Н.**, кандидат технических наук, доцент;
**Драгун С.Н.**, старший преподаватель;
**Климкович К.Д.**, магистрант
*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ АГРОТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ МОЛОЧНЫХ СКОТОВОДЧЕСКИХ ФЕРМ И КОМПЛЕКСОВ

***Аннотация.*** *Анализ показателей эффективности использования машин и оборудования в молочном скотоводстве указывает на необходимость комплексного подхода к повышению уровня организации агротехнического сервиса средств механизации молочных скотоводческих ферм и комплексов.*

*Представленная структурная схема между элементами трехуровневой системы организации агротехсервиса в наибольшей степени соответствует основной цели – обеспечению качественного и своевременного технического обслуживания, и ремонта машин и оборудования в кратчайшие сроки (в первую очередь – доильного оборудования).*

В сложных условиях санкционных ограничений при действии рыночных отношений особое значение приобретает создание хозяйственных связей и формирований, адекватных современным требованиям рынка. Они напрямую связаны с решением основных экономических и социальных задач, обусловленных расширением самостоятельности, с одной стороны, и вступлением в неуклонно усиливающую конкуренцию, с другой, всех участников экономического процесса. Подобное положение наиболее остро проявляется в аграрной сфере, претерпевшей в ходе рыночных преобразований коренные изменения, прежде всего на уровне сельскохозяйственных организаций. Происходящие здесь изменения, выдвигают необходимость поиска наиболее целесообразных, для возникающих условий хозяйствования, направлений совершенствования органи-

зации функционирования агротехнического сервиса в аграрном секторе страны, в частности, в молочном скотоводстве.

Молочное скотоводство – одна из ведущих отраслей пищевой промышленности республики. Это связано с тем, что молоко и молочные продукты являются основными в структуре питания и востребованы всеми слоями населения. Всего на Республику Беларусь приходится 6 % мировой торговли молочной продукции [1]. При этом наша страна занимает лидирующие позиции по производству молока на душу населения среди государств – членов ЕАЭС. В 2021 году произведено 784 кг молочной продукции на 1 человека. Этот показатель намного выше, чем в Казахстане, который занимает второе место по производству молочных продуктов на душу населения (317 кг на 1 человека), т.е. плюс 467 кг на человека [2].

Между тем, высокоэффективное ведение молочного скотоводства в современных условиях возможно при использовании научно-обоснованной генетики, передового опыта отечественных и зарубежных производителей и перехода на инновационные технологии, базирующихся на основе высокопроизводительного технологического оборудования с соответствующей степенью автоматизации и роботизации [3].

Их внедрение обеспечивает раскрытие потенциала животных по продуктивности и качеству производимой продукции. Современное технологическое обслуживание животноводческих ферм и комплексов становится интеллектуальным. Электронные сенсорные устройства, аппаратное и программное обеспечение ведут к расширению автоматизации рабочих процессов в животноводстве, выполняют наиболее трудоемкие по затратам времени и энергии работы, таких как кормление и поение, очистка проходов помещений от навоза, доение и др. Развитие инновационных технологий и последующее их внедрение увеличивает производительность труда, уменьшает затраты на корма, обеспечивают рост производства молока, и в целом помогает улучшить здоровье животных, за счет более полного удовлетворения физиологических потребностей животного.

Для подачи корма в зону досягаемости животных, разработаны и выпускаются автономные подравниватели кормов. Они автоматически перемещаются по кормовому проходу, следуя вдоль ограждения кормового стола.

Для доения коров разработаны и используются роботизированные системы. Доильные роботы полностью исключают ручной труд и повышают интенсивность использования оборудования, что создает физиологически более благоприятные условия для молочного животноводства.

Когда доильная установка находится в процессе поломки, то она является источником финансовых затрат. Выполнение технологической операции на биологическом объекте (корове) с нарушением ее нормативного рабочего показателя, приводит к заболеванию животного, к снижению образования молока и его выбраковке, а это в итоге приводит к дополнительному расходу финансовых средств сельскохозяйственных организаций.

Помимо условий режима доения необходимо соблюдать и другие условия содержания. Установлено, что нарушение режима кормления, поения приводит к снижению продуктивности на 15 % и более, а требований технологии машинного доения - к заболеванию вымени маститом, снижению молочной продуктивности на 7–12 % [4]. При выходе из строя вентиляционного оборудования нарушается тепловой режим, контрастность воздухообмена в помещениях, в результате чего снижается продуктивность молочного стада, падеж молодняка, скота и птиц увеличивается до 25–35 %, привесы молодняка снижаются на 10–14 % [5]. Экономический анализ функционирования животноводческих предприятий показывает, что потери животноводческой продукции из-за некачественного выполнения технологического процесса или по причине отказов машин и оборудования значительно превышают затраты на технологическое обслуживание и ремонт.

Фактические затраты на эксплуатацию по основным типам оборудования в животноводстве равны или превышают цену их приобретения, в то время как аналогичные затраты по машинно-тракторному парку для полеводства составляет не более 40 % [6].

Следует отметить, что вновь созданные сельскохозяйственные организации и агрохолдинги оснащены новейшим технологическим оборудованием, чаще всего зарубежного производства. Обслуживание такого оборудования должно осуществляться специально подготовленными сервисными предприятиями с применением специального диагностического оборудования, в соответствии с технической документацией, что позволяет производить качест-

венную диагностику, профилактику и обслуживания всех систем технологического оборудования, а также их регулировки.

Исходя из этого, современное оборудование требует повышенного, более квалифицированного технического обслуживания. В отличии от других отраслей сельского хозяйства, несвоевременное выполнение технологических процессов в животноводстве ведет к нарушению физиологических процессов в организме животных, что приводит к серьезным стрессам и напрямую сказывается на ухудшении их здоровья, следствием чего является снижение продуктивности и качества производимой продукции [3].

Чтобы поддержать такие технические средства в работоспособном состоянии товаропроизводители вынуждены приобретать дополнительное количество запасных частей, ремонтных материалов и в целях экономии средств, многие хозяйства стараются проводить ремонтно-обслуживающие работы собственными силами. Часть работы по обслуживанию и ремонту не выполняется из-за отсутствия специализированного оборудования и инструмента, а также ввиду отсутствия в хозяйстве специалистов и производственной базы.

К этому следует добавить, что рациональное распределение объемов работ между предприятиями агротехнического сервиса, надлежащая их техническая оснащенность и правильная организация технологического процесса ремонта и технического обслуживания во многом обуславливают эффективность их функционирования и в конечном итоге, оказывают существенное влияние на обеспечение требуемой эксплуатационной надежности парка машин и оборудования животноводческих ферм и комплексов.

Когда мы говорим, что агротехсервис должен выполнять сервисные услуги для поддержания средств механизации ферм молочного скотоводства в рабочем состоянии, то понимаем, что формы (виды) формирования сервисных служб могут быть различны. Многое будет зависеть от размещения предприятия агротехсервиса по территории региона. Чем они будут ближе к сельхозтоваропроизводителям, тем меньше будут затраты на транспортировку оборудования, средств механизации, запасных частей. При этом, конфигурация организации региональных служб агротехсервиса может быть различной.

В связи с этим, организация системы агротехсервиса предполагает решение нескольких моментов – это необходимость оптимальным образом рассчитать расположение этих служб и ферм мо-

лочного скотоводства для их обслуживания, а также иметь на предприятиях сервисного обслуживания высококвалифицированный трудовой коллектив. Оптимальное размещение предприятий агротехсервиса по территории региона должно дать возможность сельскохозяйственным товаропроизводителям добраться до них с минимальными транспортными издержками.

Для организации агротехсервиса животноводческого оборудования на базе райагросервисов создано 30 дилерских центров (Брестская область – 6, Витебская – 4, Гомельская – 5, Гродненская – 5, Минская – 5, Могилевская – 5) [7]. Дилерскими центрами заключены договора на гарантийное и послегарантийное обслуживание доильных залов, выпускаемых ОАО «Гомельагрокомплект», ОАО «Завод Промбурвод» и зарубежной фирмы «Вестфалия». Всего в Республике Беларусь эксплуатируется более 700 комплектов современного доильного оборудования отечественного и импортного производства.

Отечественный и зарубежный опыты работы дилерских предприятий доказывают, что дилер, занимающийся сервисом сельскохозяйственной техники, должен находится ближе к товаропроизводителю. При этом достигается оперативное устранение отказов в гарантийный и послегарантийный периоды эксплуатации, в нормативно допустимые сроки простоя машин. Эффективность работы дилерского предприятия сводится к обеспечению бесперебойной работы средств механизации животноводческих предприятий путем качественного технического обслуживания и ремонта машин и оборудования, и ремонта машин и оборудования через совокупность обслуживающих структур – системы сервисного обслуживания [7].

Поэтому, наиболее эффективной формой работы дилерских предприятий, соответствующей мировому уровню, может стать инновационная трехуровневая система организации агротехсервиса. Региональный дилерский центр, являющийся 1-м уровнем, предполагает наличие 2-го уровня, а именно сети опорных сервисных пунктов, которые следует располагать в зонах наиболее плотного размещения молочных скотоводческих ферм и комплексов и 3-й уровень размещения пунктов технического обслуживания и ремонта оборудования непосредственно в пределах функционирования сельскохозяйственных предприятий. Возможности для расширения сети опорных сервисных пунктов есть – в Республике Беларусь имеется развитая система райагросервисов, максимально приближенная к сельхозпроизводителю.

Кроме решения задачи повышения уровня технического сервиса машин и оборудования животноводческих ферм и комплексов будет восстановлена на местном уровне ведущая роль райагросервисов в проведении государственной политики в области агросервисного обслуживания сельхозпроизводителей и выполнено поручений Президента о восстановлении полноценной деятельности райагросервисов во всех районах [8].

Функционирование трехуровневой системы организации регионального технического средств механизации схематично можно представить следующим образом (рисунок).

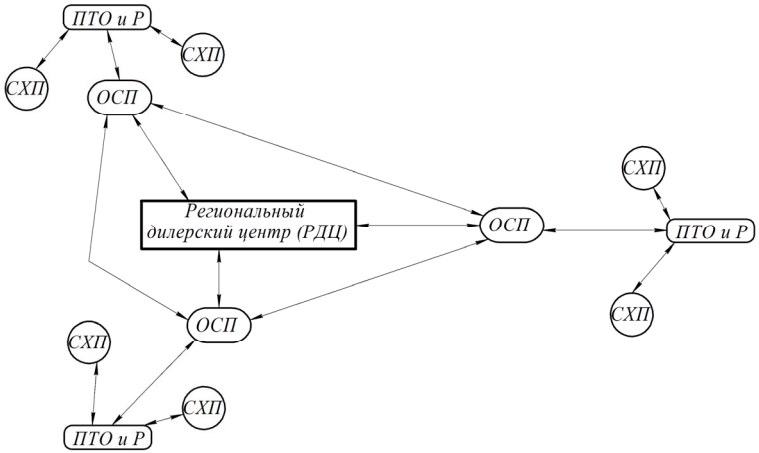



Рисунок – Схема организации региональной трехуровневой системы агротехсервиса в молочном скотоводстве

Средства механизации животноводческих ферм и комплексов согласно трехуровневой системе:

РДЦ – региональный дилерский центр, функционирующий на территории области (1-й уровень);

ОСП – опорные сервисные пункты, планируемые к расположению на территории региона (2-й уровень):

ПТОиР – пункты технического обслуживания и ремонта на животноводческих фермах и комплексах сельскохозяйственных предприятий (3-й уровень);

СХП – сельскохозяйственные предприятия.

Принимая во внимание, что в первую очередь именно доильные аппараты (техника, которая непосредственно контактирует с жи-

вотными) оказывают влияние на их производительность и здоровье, необходимо добиваться соответствия их параметров рабочему состоянию. Схема их обслуживания и ремонта может быть представлена следующим образом [9]:

1. Пункты ТО и Р в сельскохозяйственных организациях:

а) промывка доильных аппаратов, молокопроводов;

б) регулировка частоты пульсов и натяжения сосковой резины доильных стаканов;

в) регулировка величины вакуума в доильной установке.

2. Опорные сервисные пункты:

а) регулировка такта сжатия и сосания доильного аппарата;

б) замена мембран коллектора и пульсатора;

в) замена шлангов.

3. Региональный дилерский центр:

а) глубокая, безразборная диагностика оборудования;

б) замена доильных стаканов;

в) замена пульсаторов, коллекторов;

г) ремонт и замена вакуумных насосов.

Предлагаемая группировка неисправностей доильного оборудования позволяет четко разделить ответственность каждого уровня технического сервиса и избежать неоправданных расходов.

Таким образом, представленная нами структурная схема трехуровневой системы организации регионального агротехсервиса средств механизации молочных скотоводческих ферм и комплексов является более удобной в плане взаимодействия с сельхозтоваропроизводителями. Она в наибольшей степени соответствует основной цели агротехсервиса – обеспечение качественного и своевременного технического обслуживания, и ремонта оборудования в кратчайшие сроки (в первую очередь – доильного оборудования). Это значительно повышает эффективность молочного скотоводства.

Список использованных источников

1. Промышленность Республики Беларусь: Industry of the Republic of Belarus: стат. буклет / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь; ред. кол.: И.В. Медведева (пред.) [и др.]. – Минск : Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2021. – 52 с.

2. Осмотр рынка молока и молочной продукции Республики Беларусь : отчет / BIK Ratings. – Минск ; ААТ «БИК РЕЙТИНГС», 2021. – 56 с.

3. Технический сервис машин и оборудования в животноводстве: учебное пособие / В.П. Миклуш, Н.В. Казаровец, Н.А. Лабушев и др; под ред. В.П. Миклуша – Минск : БГАТУ, 2019. – 448 с.

4. Гоголев И.М. Управление экономическими механизмами повышения конкурентоспособности регионального агрокомплекса: монография / И.М. Гоголев. Екатеринбург: Ин-т экономики УрО РАН, 2006. – 227 с.

5. Дорошенко С.В. Регион как саморазвивающаяся система: адаптации к инновационному типу развития // Екатеринбург : Институт экономики УрО РАН, 2010. – 339 с.

6. Тихонов Н.Б. Методика комплексной оценки развития производственной инфраструктуры в регионе // Вестник Оренбургского государственного университета – №14 (175) / 2014 – С. 151–158.

7. Совершенствование дилерской системы технического сервиса в АПК Республики Беларусь / В.П. Миклуш // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК: материалы Международной научно-практической конференции «Белагро-2016» Минск, 9 июня 2016г. – Минск : БГАТУ, 2016. – С. 34–41.

8. Рабочая поездка в Брестскую область [Электронный ресурс]- Режим доступа: http://president.gov.by/ru/events/rabochaia-poezdka-v-brestskuju-oblast-14204/ – Дата доступа 29.03.2022.

9. Спешилова И.В. Повышение экономической эффективности молочного скотоводства на основе совершенствования агротехсервиса: Автореферат дисс. канд. эк. наук. Екатеринбург, 2020. – 27 с.

**Abstract.** The analysis of the efficiency indicators of the use of machinery and equipment in dairy cattle breeding indicates the need for an integrated approach to improving the level of organization of agrotechnical service of means of mechanization of dairy cattle farms and complexes.

The presented block diagram of structural forms between the elements of a three–level system of organization of agrotechnical services is most consistent with the main goal – to ensure high-quality and timely maintenance and repair of machinery and equipment in the shortest possible time (first of all, milking equipment).

УДК 623.618

**Щитов С.В**., доктор технических наук, профессор;
**Кузнецов Е.Е**., доктор технических наук, доцент;
**Сурин Р.О**., аспирант;
**Маршанин Е.В**., аспирант;
**Леонов В.В**., аспирант
*ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет», г. Благовещенск, Российская Федерация*

# ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ СРЕДСТВАМИ МЕХАНИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ-СЕЛЬХОЗПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ В АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ

***Аннотация:*** *Для устойчивого развития сельскохозяйственной отрасли Амурской области рассмотрены основные целевые ориентиры и направления, а также варианты решения отраслевых задач, связанных с развитием сельского хозяйства региона. В результате чего определены основные направления машинно-технологической модернизации сельского хозяйства области с использованием федеральных, региональных и муниципальных целевых программ.*

К главным показателям, определяющим категории и виды средств региональной механизации сельскохозяйственного производства относятся: естественные природно-климатические условия региона (температура воздуха, количество осадков, влажность воздуха и др.), тип и физико-механические свойства почв (физико-механический состав, удельное сопротивление, влажность, твёрдость и др.), соответствующие черты полей (длина гона, угол склона, гранулометрический состав и каменистость посевных участков, заболоченность и др.), отличительные черты агротехники, региональный уровень развития сельскохозяйственной и технической науки, принятые агротехнологии возделывания культур [1-4].

По данным Министерства сельского хозяйства Амурской области на весенних полевых работах 2021 года было задействовано 3600 тракторов разных марок, включая К-701 и К-744 – 800 тракторов, Buhler – 34 трактора, гусеничных ДТ-75, Т-4 и ДТ-175 – 12 тракторов, Т-150 – более 300, а так же –1300 МТЗ разных марок [5]. В процессе сельскохозяйственного производства региона в 2021

году использовались одна тысяча шестьсот сеялок, две тысячи культиваторов, сцепки, бороны, дискаторы, катки и другие сельскохозяйственные машины.

Благодаря поддержке регионального правительства в 2021 году сельскохозяйственными организациями области приобретено более 200 единиц сельскохозяйственной техники. На эти цели из областного бюджета было выделено более 760 миллионов рублей на условиях софинансирования с Правительством Российской Федерации, годом ранее – всего 180 миллионов рублей, тогда было закуплено более 50 единиц сельскохозяйственной техники.

По состоянию на декабрь 2021 года парк техники сельскохозяйственных организаций области составил более 60 тысяч различных видов сельскохозяйственных машин и специальных приспособлений (рисунок 1).

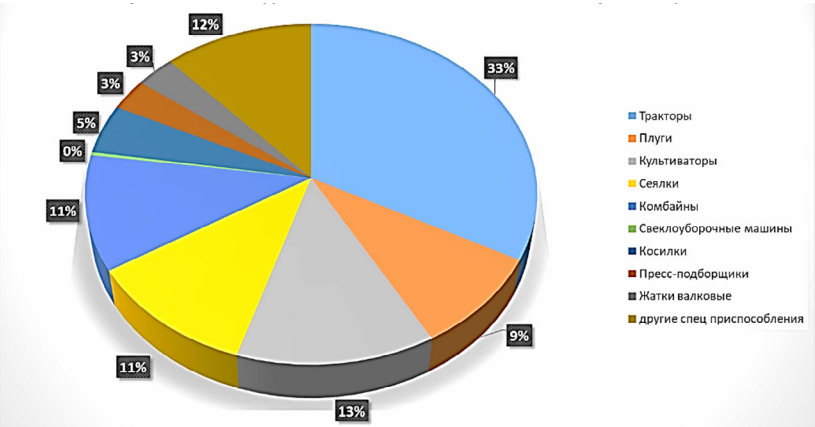



Рисунок 1 – Парк основных видов сельскохозяйственных машин и приспособлений сельскохозяйственных организаций Амурской области

В 2022 году амурские аграрии планируют приобрести более 500 единиц сельскохозяйственной техники и оборудования. В том числе ожидается закупка 140 мощных тракторов и более 160 зерноуборочных комбайнов. Обеспеченность тракторным парком (МТП) агропромышленного комплекса (АПК) Амурской области представлена в таблице 1 (рисунок 2) [5].

Таблица 1 – Обеспеченность сельскохозяйственных организаций тракторами и комбайнами

| | 2010 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Приходится тракторов на 1000 га пашни, шт | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Нагрузка пашни на один трактор, га | 236 | 320 | 328 | 337 | 345 | 349 | 353 |
| Приходится комбаинов на 1000 га посевов (посадки) зерновых культур, шт | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Приходится на 100 тракторов, шт | | | | | | | |
| плугов | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| культиваторов | 39 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| сеялок | 43 | 39 | 38 | 37 | 36 | 35 | 34 |
| грабель | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 6 | 6 |
| косилок | 13 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 |

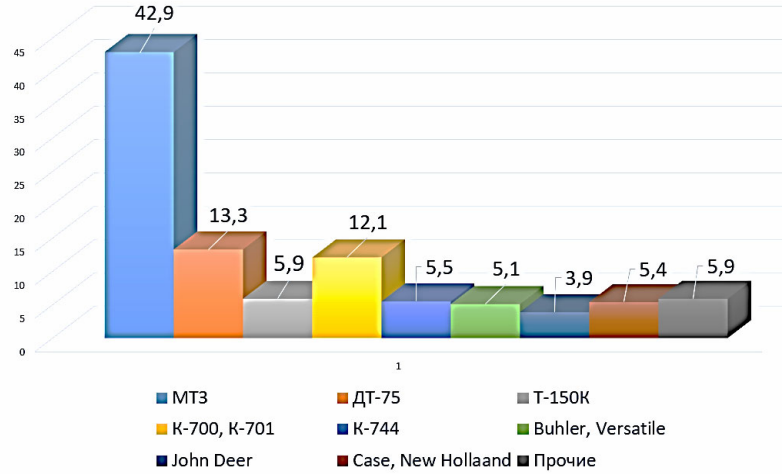



Рисунок 2 – Распределение тракторного парка Амурской области по марочному составу, %

Вместе с тем, обновление техники не дает хозяйствам хотя бы компенсировать выбытие устаревшей сельхозтехники (рисунок 3).

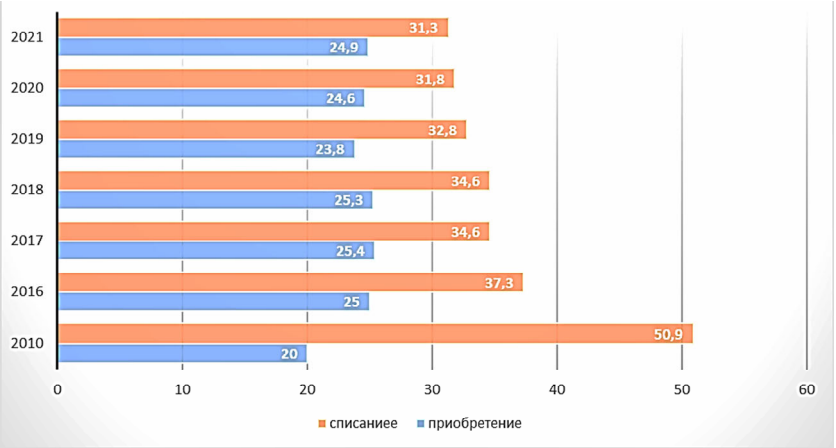


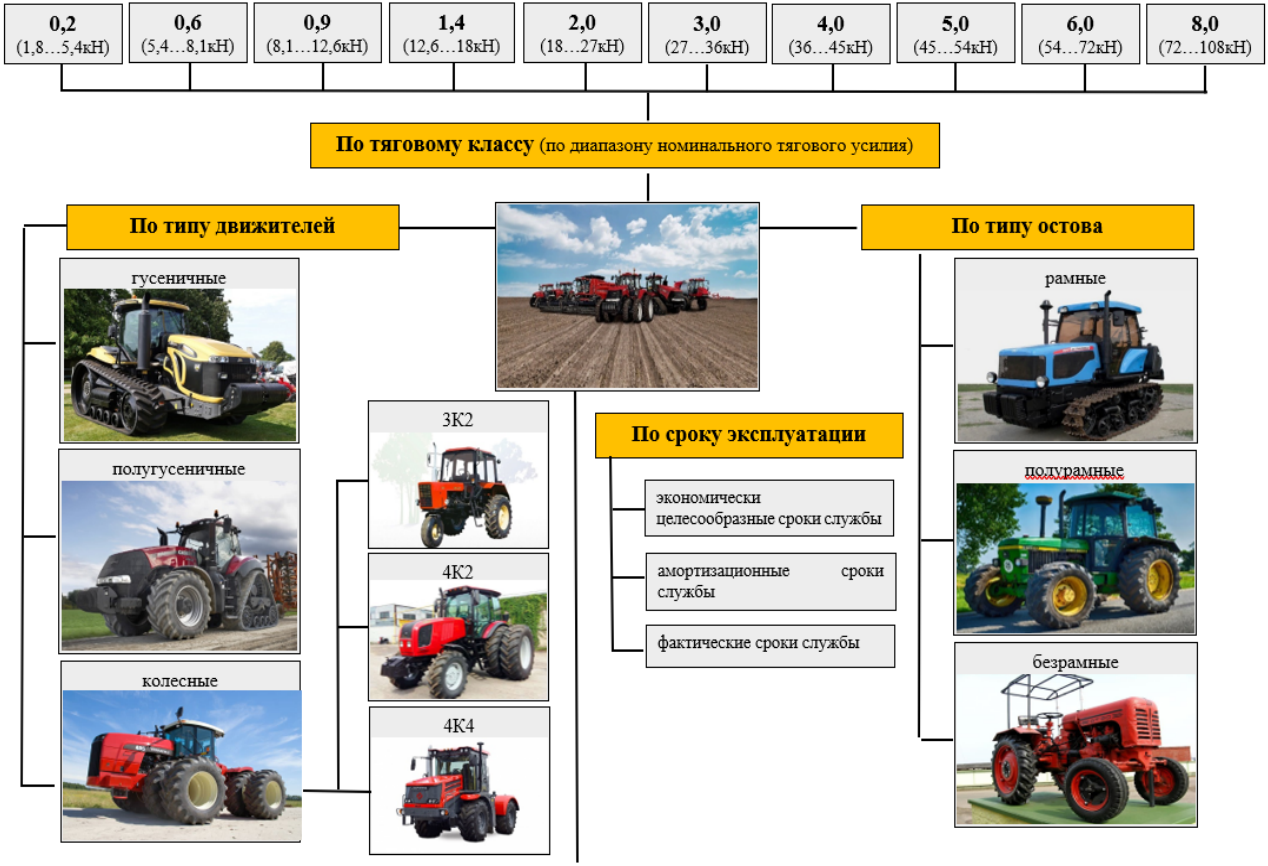

Рисунок 3 – Приобретение и списание сельскохозяйственной техники в Амурской области, %

Быстрое сокращение парка тракторов и комбайнов в сельских хозяйствах, их физическое и нравственное старение приводят к сбоям в научно-технических процессах. Особенно на пахотных и уборочных работах.

На долю колесных тракторов приходится 75 % от всего тракторного парка области (рисунок 4). Из них 60 % составляют колесные тракторы тягового класса 5 (рисунок 2), при этом именно в крупных сельскохозяйственных организациях сконцентрировано 28 % данных тракторов.

Большинство хозяйств использует на тракторах спаренные колеса, что увеличивает их тягово-сцепные свойства и понижает негативное техногенное воздействие на почву. Используемые в области широкозахватные почвообрабатывающие агрегаты применяются в основном на обширных массивах с большой длиной гона.

Уровень развития материально-технической базы в фермерских хозяйствах очень низок, техника в основном количестве выработала свой моторесурс и нуждается в списании и замене на новые высокоэффективные модели. Используемый тракторно-транспортный парк имеет уровень амортизации более 85–95 %. Большинство имеющихся тракторов работает за пределами сроков амортизации, что понижает качество исполняемых работ по возделыванию сельскохозяйственных культур (рисунок 5).


0,2 (1,8…5,4кН)
0,6 (5,4…8,1кН)
0,9 (8,1…12,6кН)
1,4 (12,6…18кН)
2,0 (18…27кН)
3,0 (27…36кН)
4,0 (36…45кН)
5,0 (45…54кН)
6,0 (54…72кН)
8,0 (72…108кН)
По тяговому классу (по диапазону номинального тягового усилия)
По типу движителей
гусеничные
полугусеничные
колесные
3К2
4К2
4К4
По сроку эксплуатации
экономически целесообразные сроки службы
амортизационные сроки службы
фактические сроки службы
По типу остова
рамные
полурамные
безрамные

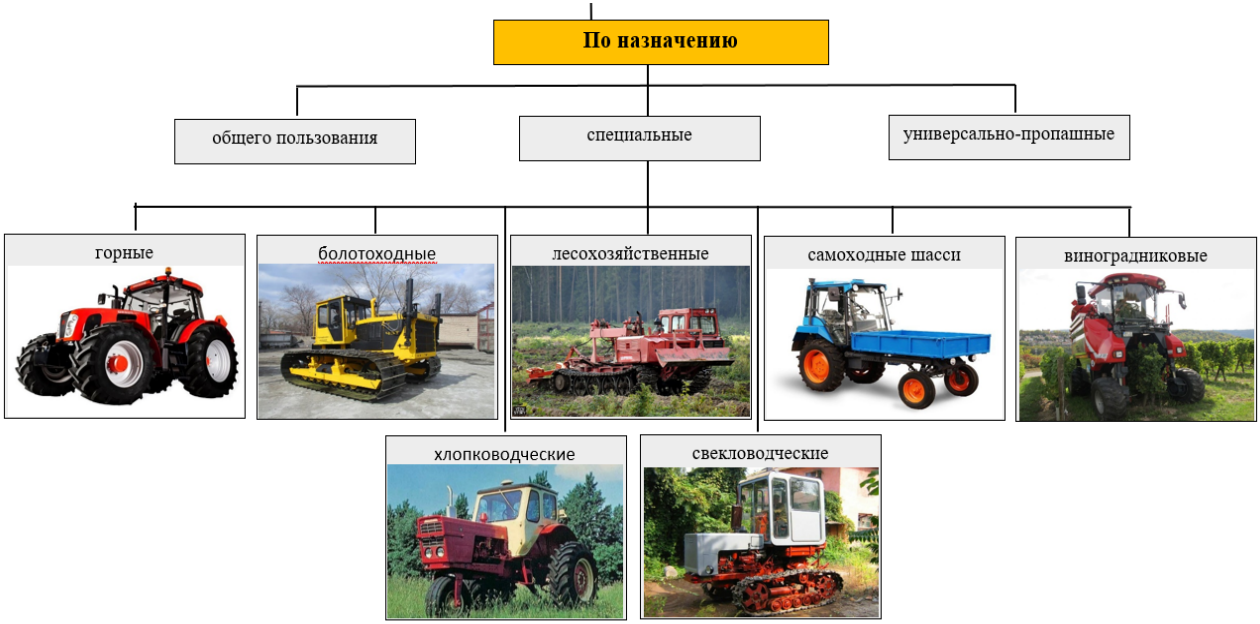



Рисунок 4 – Классификация сельскохозяйственных тракторов

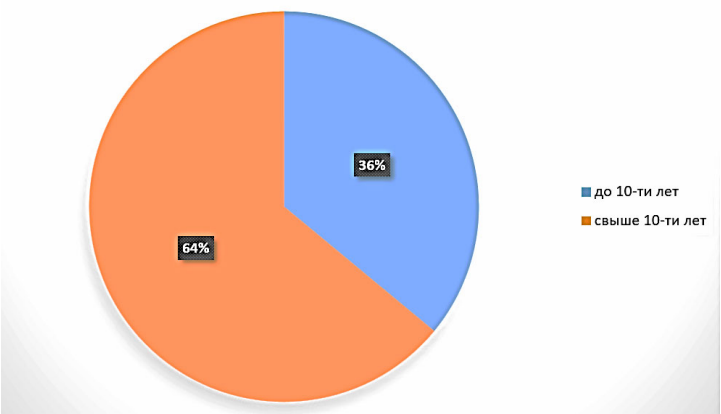



Рисунок 5 – Возрастной состав тракторного парка Амурской области, %

Таким образом, несмотря на все усилия регионального и федерального Правительства уровень механизации сельскохозяйственного производства региона достаточно низок и не удовлетворяет всех потребностей организаций-сельхозтоваропроизводителей. Целевые ориентиры и плановые показатели, рекомендуемые к выполнению, требуют новых подходов к достижению максимальной эффективности имеющихся средств производства. В связи с чем научным и производственным коллективам региона необходимо проведение более обширных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в обозначенном направлении с последующим внедрением получаемых результатов производством в сокращённые сроки.

Список использованных источников

1. Алдошин Н.В. Повышение производительности при перевозке сельскохозяйственных грузов / Н.В. Алдошин, Пехутов А.С.// Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2012. – № 4. – С. 26–27.

2. Беляев В.И., Вольнов В.В. Ресурсосберегающие технологии возделывания зерновых культур в Алтайском крае. Монография: Барнаул: Алт.ГАУ, 2010. – С. 178.

3. Кузнецов Е.Е., Щитов С.В. Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в технологии воз-

делывания сельскохозяйственных культур: Монография. ДальГАУ-Благовещенск, 2017. – С. 272.

4. Кузнецов Е.Е., Щитов С.В., Поликутина Е.С. Повышение продольно-поперечной устойчивости и снижение техногенного воздействия на почву колесных мобильных энергетических средств: монография; Дальневост. гос. аграр. ун-т. – Благовещенск: Изд-во Дальневост. гос. аграр. ун-та, 2020. – С.148

5. Министерство сельского хозяйства Амурской области, официальный сайт [Электронный ресурс] URL http://www.agroamur.ru

УДК 631.312

**Романюк Н.Н.**[1], кандитат технических наук, доцент;
**Агейчик В.А.**[1], кандитат технических наук, доцент;
**Нукешев С.О.**[2], доктор технических наук, профессор;
член-корреспондент НАН РК;
**Еднач В.Н.**[1], кандидат технических наук, доцент;
**Гильдюк К.В.**[1], студентка; **Гошко И.А.**[1], студент
*[1]УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь,*
*[2]Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, Республика Казахстан*

# К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ПЛОСКОРЕЗА-ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЯ-УДОБРИТЕЛЯ

**Аннотация.** В статье предлагается оригинальная конструкция плоскореза-глубокорыхлителя-удобрителя, способного повысить качество крошения почвенных глыб и выравненность поверхности поля.

## Введение

Создание высокопроизводительных машин и комбинированных агрегатов для выращивания зерновых и внесения удобрений является одним из резервов увеличения производства зерна. Совмещение основных технологических операций позволяет не только значительно снижать трудоемкость процесса и энергоемкость машин, но и служит необходимым агротехническим приемом, особенно при защите почв от ветровой эрозии, сохранении и росте ее плодородия, снижении уплотнения [1, 2]. Проведенные исследования показывают, что не менее половины прироста урожайности сельскохозяйственных культур обеспечивается при использовании минеральных удобрений. При этом величина урожая зависит не только от количества и качества внесенных удобрений, но и от качества подготовленной почвы. Для нормального развития необходимо, чтобы растения в равной мере были обеспечены вносимыми питательными веществами. Неравномерное внесение удобрений приводит как к снижению биологического урожая, так и к неизбежным потерям при механизированной уборке, обусловленным неравно-

мерностью структуры посевов, различными сроками созревания растений и т.д, в результате чего теряется в пересчете на зерно около 24 млн. т продукции [3, 4].

Целью исследований является разработка конструкции плоскореза-глубокорыхлителя-удобрителя, способного повысить качество крошения почвенных глыб и выравненность поверхности поля.

**Основная часть**

Для решения поставленной цели нами поставлены следующие задачи исследований:

1. Провести патентные исследования и проанализировать технические средства для основной и поверхностной обработок почвы.

2. Разработать конструкцию плоскореза-глубокорыхлителя-удобрителя, способного повысить качество крошения почвенных глыб и выравненность поверхности поля.

Проведенный патентный поиск показывает, что известно комбинированное орудие для послойного рыхления почвы без оборота пласта [5], содержащее раму с опорными колесами, механизм навески, механизм регулирования глубины обработки почвы с рабочими органами с эксцентриковым механизмом глубины обработки почвы.

Недостатком его является ограниченность функциональных возможностей при обработке почв и высокая металлоемкость в общей конструкции.

Известен рабочий орган плоскореза-глубокорыхлителя-удобрителя КПГ-250 или ГУН-4 для выполнения плоскорезной обработки почвы и внесения удобрений [6], включающий плоскорежущую лапу с лемехом, стойку, тукопровод, распределительную камеру с установленным в ней отражателем воздушнотуковой смеси, выполненной в виде полой усеченной пирамиды.

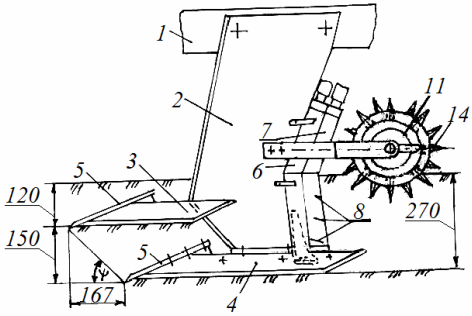
К недостаткам описанного рабочего органа относится высокая неравномерность распределения минеральных удобрений и неспособность ее ярусного внесения.

Известенза прототип, плоскорез-глубокорыхлитель-удобритель [7], включающий стойку, плоскорезную лапу с установленным впереди долотом и трубку-тукопровод, при этом между лапами с долотами, последние установлены на двух уровнях, со сдвигом верхней, меньшей ширины лапы, вперед по ходу, причем отношение измеренных в вертикальной продольной плоскости симметрии рабочего органа расстояния между передними кромками долот

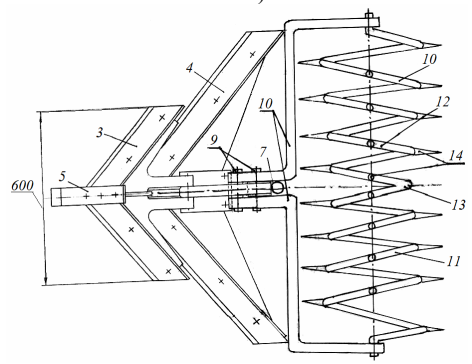
верхней и нижней лап по вертикали к расстоянию между ними в горизонтальной плоскости равно 0,9 и за стойкой последовательно прикреплены две трубки-тукопровода, передняя из которых производит разбросное внесение удобрений на максимальной глубине обработки, а задняя – ярусное, пунктирное внесение, для чего в последней установлены рассекатели вертикального потока туков.

К недостаткам описанного орудия относятся недостаточное рыхление почвы и выравнивание поверхности поля, что приводит к образованию почвенных глыб и борозд, которые после засыхания плохо поддаются последующей обработке.

На рисунке 1 представлена оригинальная конструкция плоскореза-глубокорыхлителя-удобрителя [8, 9] (а) – общий вид орудия с рабочими органами, вид сбоку; б) – то же, вид сверху).




а)




б)

Рисунок 1 – Плоскорез-глубокорыхлитель-удобритель

Плоскорез-глубокорыхлитель-удобритель представляет собой закрепленную на раме 1 стойку 2 с закрепленными на ней верхнюю 3 и нижнюю 4 плоскорезные лапы с установленным на них долотами 5. Плоскорезные верхняя 3 и нижняя 4 лапы установлены на двух уровнях, со сдвигом верхней 3, меньшей ширины лапы, вперед по ходу, причем отношение измеренных в вертикальной продольной плоскости симметрии рабочего органа расстояния между передними кромками долот 5 верхней 3 и нижней 4 лап по вертикали к расстоянию между ними в горизонтальной плоскости равно 0,9. За стойкой 2 последовательно прикреплены две трубки-тукопровода: передняя 6 производит разбросное внесение удобрений на максимальной глубине обработки, а задняя 7 – ярусное, пунктирное внесение, для чего в последней установлены рассекатели 8 вертикального потока туков.

К стойке 2 болтами 9 прикреплены кронштейны 10, на которых установлен рыхлительно-выравнивающий рабочий орган, выполненный в виде полой спирали, состоящей из двух имеющих общую горизонтальную перпендикулярную направлению движения плоскореза-глубокорыхлителя ось вращения обращенных большими основаниями наружу навитых по боковой поверхности конических в виде усеченных прямых конусов половин спиралей, левая половина 11, считая по направлению движения органа которой имеет правую навивку, а правая половина 12 – левую, причем их стык 13 в своём нижнем положении обращён острым углом в сторону направления движения глубокорыхлителя, при этом максимальный наружный диаметр витков спирали равен 500мм, а минимальный - 400 мм, диаметр прутка спирали – 20 мм, угол подъёма витка – 15 градусов.

На наружной поверхности спиралей закреплены в радиальном направлении зубья 14, при этом длина радиально расположенных зубьев на большем диаметре спиралей 100 мм и она плавно увеличивается до 150 мм на меньшем диаметре спирали 400 мм таким образом, что все вершины зубьев расположены на расстоянии 350 мм от оси вращения полой спирали. При работе верхняя лапа 3 подрезает сорняки и разрыхляет верхний слой почвы. Нижняя лапа 4 разрыхляет нижний слой почвы, при этом образуя угол скалывания почвы $\Psi=90° - 0,5(\alpha+\varphi+\varphi')$, где $\alpha=26°$ – угол между рабочей плоскостью долота или лапы и горизонтальной плоскостью; $\varphi=14°$-$35°$ – угол трения почвы о поверхность лапы или долота; $\varphi'=17°$-$35°$

– угол внутреннего трения почвы. В результате подстановки численных значений получаем диапазон изменения угла скалывания почвы Ψ=42°...61°. При этом деформация почвы от нижней 4 лапы будет направлена в уже взрыхленный верхней передней 3 лапой слой почвы, при отношении измеренных в вертикальной продольной плоскости симметрии рабочего органа расстояниях между передними кромками долот верхней 3 и нижней 4 лап по вертикали к расстоянию между ними в горизонтальной плоскости равном 0,9, что соответствует Ψ=42°. Прикрепленные последовательно за стойкой две трубки-тукопровода производят разбросное внесение удобрений: передняя 6 на максимальной глубине обработки, а задняя 7 – ярусное, пунктирное внесение, для чего в последней установлены рассекатели 8 вертикального потока туков.

Пласт почвы, сходящий с передней лапы 3 , подвергается обработке со стороны конических половин 11 и 12 спирали, при этом основной причиной её вращения является зацепление с почвой зубьев 14, что и определяет главным образом направление воздействия спирали на почвенный слой в горизонтальной плоскости, при этом задние поверхности нижних частей спирали сдвигают уже подвергшуюся наибольшему воздействию рабочих органов и поэтому наименее сопротивляющуюся рыхлую почву к центру к борозде, образованной стойкой 2.

Зубья 14 внедряются в пласт и производят его разрушение на мелкокомковатую структуру. После прохода рабочего органа образуется выравненная мелкокомковатая поверхность поля. Выполнение частей спирали 11 и 12 коническими позволяет избежать сгруживания почвы в центральной части после прохода рабочего органа.

**Заключение**

На основании проведенных патентных исследований предложена оригинальная конструкция плоскореза-глубокорыхлителя-удобрителя, способного повысить качество крошения почвенных глыб и выравненность поверхности поля.

Список использованных источников

1. Совершенствование конструкции орудия для основной и поверхностной обработок почвы / Н.Н. Романюк [и др.] // Материалы VII Междунар. науч.-практич. конф. «Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях», 17–19 марта 2020

года / отв. редактор А.В. Русинов. – Саратовский ГАУ; Саратов: Амирит, 2020. – С. 375–378.

2. Романюк, Н.Н. Снижение уплотняющего воздействия на почву мобильных энергосредств : монография / Н.Н. Романюк // Минск : БГАТУ, 2020. – 200 с.

3. Технологические и технические решения проблемы внесения основной дозы минеральных удобрений в системе точного земледелия в условиях северного Казахстана / С.О. Нукешев [и др.] // Новости науки Казахстана. – 2020. – № 1 (143) – С. 176–187.

4. Набокина, О.Я. Разработка схемы и обоснование основных конструктивных и режимных параметров плоскореза-глубокорыхлителя-удобрителя : автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.20.01 / О.Я. Набокина; Оренбургский гос. аграрный университет. – Оренбург, 2000. – 19с.

5. Патент на изобретение Европейского патентного ведомства № CA 1138700, М.кл. A01B 49/00, 01.04.1983г.

6. Грибановский, А.П. Комплекс противоэрозионных машин / А.П. Грибановский, Р.В. Бидлингмайер. – Алматы : Кайнар, 1990. – С. 6.

7. Патент KZ № 33399. МПК A01B 49/06, 25.01.2019. Бюл. 4.

8. Плоскорез-глубокорыхлитель-удобритель: патент 7164 U Респ. Казахстан, МПК A01B 49/02; A01B 49/06 / С.О.Нукешев (KZ); Н.Н.Романюк (BY); В.А.Агейчик (BY); Е.С.Ахметов (KZ); А.М.Хартанович (BY); Х.К.Танбаев (KZ); К.М.Тлеумбетов (KZ); Ораз Шәкәрім Қайратұлы (KZ); заявитель Нукешев Саяхат Оразович. – № 2022/0389.2; заявл. 26.03.2021; зарегистрир. 03.06.2022 // Государственный реестр изобретений Респ. Казахстан. – 2022. – Бюл. №22.

9. Плоскорез-глубокорыхлитель-удобритель : патент на изобретение 35825 B Респ. Казахстан, МПК A01B 49/06 / С.О. Нукешев (KZ); Н.Н. Романюк (BY); В.А.Агейчик (BY); С.А. Войнаш (RU); А.Е. Аюпова (KZ); заявитель Нукешев Саяхат Оразович. – № 2021/0496.1; заявл. 16.08.2021; зарегистрир. 09.09.2022 // Государственный реестр изобретений Респ. Казахстан. – 2022. – Бюл. № 36.

**Abstract.** The article proposes an original design of a planar cutter-a deep-drying fertilizer that can improve the quality of crumbling of soil blocks and the alignment of the field surface.

УДК 631.356

**Романюк Н.Н.**[1], кандидат технических наук, доцент;
**Эвиев В.А.**[2], доктор технических наук, профессор;
**Агейчик В.А.**[1], кандидат технических наук, доцент;
**Еднач В.Н.**[1], доцент; **Вольский А.Л.**[1]
*[1]УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь;*
*[2]Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова», г. Элиста, Российская Федерация*

# ОРИГИНАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ВЫКАПЫВАНИЯ ЛУКА

***Аннотация.*** *В статье предложена оригинальная конструкция устройства для выкапывания лука, использование которого позволит снизить материалоёмкость и повысить качество отделения лука от примесей.*

## Введение

Создание технических средств для замены ручного труда при возделывании лука, обеспечивающих получение качественной продукции при минимальных трудозатратах, сдерживается отставанием в разработке рабочих органов для уборки мелкоразмерных корнеклубнеплодов в широком диапазоне почвенно-климатических условий, удовлетворяющих агротребованиям [1].

Целью исследований является разработка устройства для выкапывания лука, способного снизить материалоёмкость и повысить качество отделения лука от примесей в виде посторонних растительных остатков и почвенных комков.

## Основная часть

Для решения поставленной цели нами поставлены следующие задачи исследований:

1. Провести патентные исследования и проанализировать технические средства для выкапывания лука.

2. Разработать конструкцию устройства для выкапывания лука, способного снизить материалоёмкость и повысить качество отде-

ления лука от примесей в виде посторонних растительных остатков и почвенных комков.

Проведенный патентный поиск показывает, что известно устройство для выкапывания корнеплодов и лука [2], состоящее из рамы, на которой смонтированы подкапывающий лемех, над которым размещен битер, а за ним соосно - сепарирующий барабан. Битер выполнен в виде барабана, несущего консольно и радиально закрепленные эластичные лопасти. Сепарирующий барабан выполнен из стержней, закрепленных на боковинах, с возможностью свободного вращения их относительно упомянутых боковин. За сепарирующим барабаном размещен приемный транспортер. Сзади транспортера на раме закреплен скатный лоток. Битер и сепарирующий барабан связаны с механизмом привода устройства во встречное вращение.

Недостатком данного устройства является то, что сепарирующий барабан, склонен к частым забиваниям почвой, сорняками, ботвой, так как он в целях исключения потерь лука во время работы необходимо максимально приближать к поверхности пласта почвы, подрезанного лемехом, вследствие чего пласт перекрывает наружную поверхность сепарирующего барабана ниже его горизонтального диаметра и тем самым ухудшается выход почвенных примесей изнутри барабана через зазоры между его прутками, что приводит к необходимости снижения рабочей скорости движения устройства и остановкам для очистки внутренней поверхности барабана от почвенных примесей, сорняков и ботвы, в результате чего снижается производительность.

Известно устройство для выкапывания корнеплодов и лука [3], содержащее раму со смонтированным на ней сзади приёмным транспортером и впереди подкапывающим лемехом, над которым размещен битер, а за ним сепарирующий прутковый барабан, расположенный соосно с битером, при этом диаметр сепарирующего пруткового барабана равен 0,5 средней длины ботвы лука в естественном состоянии, при этом зазор между прутками сепарирующего пруткового барабана больше минимального диаметра луковицы, но меньше среднего диаметра луковицы, причем прутки сепарирующего пруткового барабана зафиксированы с помощью пружин на его боковинах, кроме этого внутри сепарирующего пруткового барабана на его валу жестко установлен шнек, выполненный с левой

и правой навивками от его середины, причем диаметр шнека равен 0,8 внутреннего диаметра сепарирующего пруткового барабана, при этом длина шнека равна величине расстояния между боковинами сепарирующего пруткового барабана, а шаг навивки шнека равен размеру внутреннего диаметра сепарирующего пруткового барабана, причем боковины сепарирующего пруткового барабана имеют окна для удаления примесей из него, с площадью сечения окон, равной площади сечения витка шнека, кроме того, диаметр битера равен двум диаметрам сепарирующего пруткового барабана.

Такое устройство не обеспечивает достаточное отделение извлеченного из почвенного слоя лука от посторонних растительных остатков и почвенных комков, т.к. приёмный транспортер не обладает для этого техническими возможностями.

Известно устройство для отделения корнеплодов и лука от примесей [4], содержащее разделительную горку в виде наклонного транспортёра с установленной на нём с возможностью движения транспортёрной лентой с закреплёнными на ней упругими пальцами, преимущественно из резины, и щётку с возможностью вращения на встречу транспортёрной ленте, причём пальцы установлены в шахматном порядке на свободных концах эластичных пластин, прикреплённых к скребкам, которые установлены перпендикулярно продольной оси полотна ленты транспортёра и наклонно к полотну в сторону движения транспортёрной ленты, при этом эластичные пластины закреплены к наклонным скребкам с образованием совместно с полотном ленты транспортёра осадочных камер для сбора почвенных примесей, причём щётки и эластичные пластины расположены так, что окружности траекторий свободных концов ворса щётки и эластичных пластин касательны, а ось щётки расположена горизонтально и выше горизонтальной оси заднего вала транспортёра.

Такое устройство является материалоёмким, так как для обеспечения необходимой жёсткости эластичных пластин и консольно закреплённых на них упругих пальцев, пластины и пальцы выполняются большого диаметра и толщины, что помимо увеличения веса и стоимости устройства приводит также к уменьшению объёма осадочных камер для сбора почвенных примесей и, в случае сильной засорённости вороха, может привести к забиванию очистительных элементов устройства примесями и ухудшению качества отделения от них корнеплодов и лука. На рисунке 1 представле-

на оригинальная конструкция устройства для выкапывания лука (а) – вид сбоку; б) – схема сепарирующего пруткового барабана со шнеком, вид сбоку; в) – разрез А-А; г) – схема горки и щётки для отделения лука от примесей, вид сбоку; д) – схема расположения пальцев на полотне транспортёра, вид сверху; е) – схема крепления пальцев; ж) – схема взаимодействия горки и щётки [5], содержащая раму 1, опирающуюся в зависимости от способа присоединения к энергетическому средству в виде трактора на два или четыре опорных колеса 23, со смонтированным на ней подкапывающим лемехом 2, над которым размещен битер 3, а за ним соосно расположен сепарирующий прутковый барабан 4.

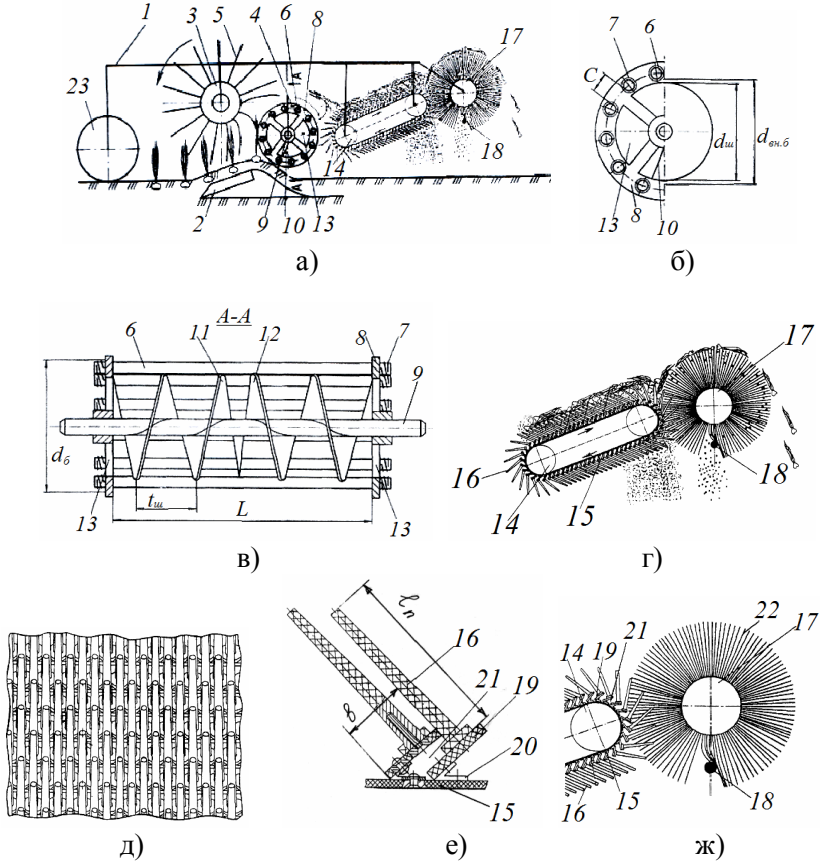



Рисунок 1 – Устройство для выкапывания лука

Битер 3, диметр Dб которого равен двум диаметрам сепарирующего пруткового барабана 4 dб, выполнен в виде барабана, несущего консольно и радиально закрепленные эластичные лопасти 5. Сепарирующий прутковый барабан 4, диаметр dб которого равен 0,5 средней длины ботвы лука Lб.ср в естественном состоянии, выполнен из прутков 6, зафиксированных от свободного вращения с помощью пружин 7 на его боковинах 8, при этом зазор С между прутками 6 сепарирующего пруткового барабана 4 больше минимального диаметра луковицы dmin л, но меньше среднего диаметра луковицы dср л. Внутри сепарирующего пруткового барабана 4 на его валу 9 жестко установлен шнек 10, выполненный с левой 11 и правой 12 навивками от его середины. Диаметр шнека 10 dш равен 0,8 внутреннего диаметра сепарирующего пруткового барабана 4 dвн. б, при этом длина шнека 10 равна величине расстояния L между боковинами 8 сепарирующего пруткового барабана 4, а шаг навивки шнека 10 tш равен половине внутреннего диаметра сепарирующего пруткового барабана 4 dвн.б. При этом обе боковины 8 сепарирующего пруткового барабана 4 имеют окна 13 для удаления примесей из него с площадью сечения окон 13 Fо, равной площади сечения витка шнека 10 Fв.ш. Битер 3 и сепарирующий прутковый барабан 4 связаны с механизмом привода устройства во встречное вращение.

За сепарирующим прутковым барабаном 4 размещена с возможностью подачи последним на её верхнюю рабочую ветвь лука с примесями разделительная горка 14, выполненная в виде наклонного транспортёра с установленной на нём с возможностью движения транспортёрной лентой 15, образующей рабочую и обратную ветви с закреплёнными на ней упругими пальцами 16, преимущественно из резины, щётку 17 с возможностью вращения на встречу движения транспортёрной ленты 15. Пальцы 16 установлены в шахматном порядке на свободных концах эластичных пластин 19, прикреплённых к скребкам 20, которые установлены перпендикулярно продольной оси полотна транспортёрой ленты 15 и наклонно к полотну в сторону движения транспортёрной ленты 15, при этом эластичные пластины 19 касаются кромками свободных концов оснований упругих пальцев 16 соседних впереди по ходу движения транспортёрной ленты 15 расположенных эластичных пластин 19. Основания и соответственно свободные концы упругих пальцев 16

расположены на расстоянии друг от друга в продольном и поперечном направлениях с учетом площади просеивания примесей. Эластичные пластины 19 образуют совместно с полотном транспортёрной ленты 15 осадочные камеры 21 для сбора почвенных примесей. Сзади разделительной горки 14 установлена щётка 17, горизонтальная ось которой расположена выше горизонтальной оси заднего вала транспортёрной ленты 15. Окружности траекторий свободных концов ворса 22 щётки 17 и эластичных пластин 19 касательны. В нижней части щётки 17 установлен среди её ворса 22 деформатор 18. Длина lп упругих пальцев 16 равна 0,3-0,4 средней длины ботвы лука в естественном состоянии, ширина эластичной пластины равна 0,3-0,4 от длины упругих пальцев 16, длина ворса 22 щетки 17 в 2,0-2,5 больше длины упругих пальцев 16, а деформатор 18 на 0,2-0,3 своей длины погружён в ворс 22.

Устройство для выкапывания лука работает следующим образом.

При движении устройства лемех 2 подрезает пласт почвы, содержащий луковицы, поднимает его и опускает на подошву. В момент схода пласта с лемеха 2 прутки 6 сепарирующего пруткового барабана 4, максимально приближенные к поверхности подрезанного лемехом 2 пласта почвы, и эластичные лопасти 5 битера 3 защемляют перо лука, выдергивают луковицы из пласта и подают их на приемный транспортер 14. Благодаря тому, что диаметр битера 3 равен двум диаметрам сепарирующего пруткового барабана 4, диаметр которого в свою очередь равен 0,5 средней длины ботвы лука в естественном состоянии, защемление пера луковицы происходит около ее шейки, производя теребление без потерь. Прутки 6 сепарирующего пруткового барабана 4, зафиксированные на его боковинах 8 от свободного вращения с помощью пружин 7, при теребленении луковиц эластичными лопастями 5 битера 3 и прутками 6 сепарирующего пруткового барабана 4 не прокручиваются, что приводит к полному тереблению убираемого продукта. В результате того, что зазор между прутками 6 сепарирующего пруткового барабана 4 больше минимального диаметра луковицы, но меньше среднего диаметра луковицы, при воздействии на лук эластичных лопастей 5 битера 3 и прутков 6 сепарирующего пруткового барабана 4 в момент теребления почвенные примеси разрушаются, проникая внутрь барабана, тем самым очищая лук от примесей. Попавшая внутрь сепарирующего пруткового барабана 4 почва удаля-

ется из внутренней его полости при помощи шнека 10, выполненного с лево- и правосторонней 11, 12 навивками, на поверхность поля через окна 13 боковин 8. В результате того, что диаметр шнека 10 равен 0,8 внутреннего диаметра сепарирующего пруткового барабана 4 с шагом навивки, равным половине внутреннего диаметра сепарирующего пруткового барабана 4, а окна 13 боковин 8 сепарирующего пруткового барабана 4 имеют площадь сечения, равную площади сечения витка шнека, почвенные примеси, попавшие внутрь барабана, во время его вращения, измельчаются и удаляются из внутренней полости барабана через зазоры между прутками 6 и окна 13 боковин 8, что способствует улучшению сепарирующей способности устройства и увеличению производительности агрегата.

Ворох лука, включающий луковицы с ботвой и не отделенные почвенные и растительные примеси, подаётся сепарирующим прутковым барабаном 4 на разделительную горку 14. При падении вороха лука на поверхность пальцев 16 происходит их колебание совместно с эластичными пластинами 19, что способствует интенсивному выделению почвенных примесей из вороха. При дальнейшем движении транспортёрной ленты 15 упругие пальцы 16 продолжают колебательные движения, за счёт чего оставшиеся почвенные примеси легко просыпаются в промежутки между ними и оседают на поверхность полотна транспортёрной ленты 15 в осадочные камеры 21. Благодаря наклонным упругим пальцам 16, расположенным в шахматном порядке, исключается свободное прохождение луковиц между ними и наматывание ботвы на пальцы 16. Луковицы за счёт ботвы и связности вороха находятся в подвешенном состоянии и не опускаются ниже уровня эластичных пластин 19. На сходе с рабочей поверхности разделительной горки 14 при помощи щётки 17, горизонтальная ось которой расположена выше горизонтальной оси заднего вала разделительной горки 14 в виде транспортёра, удаляется ворох и зависшие между упругими пальцами 16 луковицы, а почвенные примеси, попавшие в осадочные камеры 21, остаются в этот момент в осадочных камерах 21 за счёт того, что окружности траекторий свободных концов ворса 22 щётки 17 и эластичных пластин 19 касательны. Далее примеси из осадочных камер 21 осыпаются на поверхность поля с обратной ветви транспортёрной ленты 15 разделительной горки 14. Почвенные

примеси вороха, которые не попали в осадочные камеры 21, удаляются вместе с ворохом лука щёткой 17. Во время прохождения вороха лука по поверхности щётки 17 оставшиеся почвенные примеси оседают в ней и удаляются с нижней части щётки 17 с помощью воздействия на её ворс 22 деформатора 18.

Очищенный лук поступает в приёмный контейнер укладывается на поверхность почвы для досушивания и дозатаривания.

**Заключение**

На основании проведенных патентных исследований предложена оригинальная конструкция устройства для выкапывания лука, способного снизить материалоёмкость и повысить качество отделения лука от примесей в виде посторонних растительных остатков и почвенных комков.

Список использованных источников

1. Кувайцев, В.Н. Разработка выкапывающего устройства копателя лука-репки с обоснованием конструктивных и режимных параметров : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / В.Н. Кувайцев; [Место защиты: Пенз. гос. с.-х. акад.]. – Пенза, 2011. – 150 с.

2. А.с. SU №1741643 A01D 25/04, Бюл. №23, 1992.

3. Патент на изобретение РФ №2240671 A01D 27/04, 2004, Бюл. №33.

4. Патент на изобретение РФ №2182415 C1, МПК A01D 33/08, Бюл. №14, 2002.

5. Устройство для выкапывания лука : патент 2762845 C1 Российской Федерации, МПК A01D 25/04 / Н.Н. Романюк (BY); В.А. Агейчик (BY); В.Н. Еднач (BY); К.В. Гильдюк (BY); С.А. Войнаш (RU); В.А. Соколова (RU); С.А. Партко (RU); И.П. Трояновская (RU); С.Г. Лопарева (RU); Д.В.Лопарев (RU); заявитель Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева (RU).– № 2021114114; заявл. 18.05.2021; опубл. 23.12.2021 // Федеральная служба по интеллектуальной собственности. – 2021. Бюл. №36.

**Abstract.** The article proposes an original design of a device for digging onions, the use of which will reduce the material consumption and improve the quality of separating onions from impurities.

УДК 631.33

**Романюк Н.Н.**[1], кандидат технических наук, доцент;
**Агейчик В.А.**[1], кандидат технических наук, доцент;
**Нукешев С.О.**[2], доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН РК;
**Еднач В.Н.**[1], кандидат технических наук, доцент;
**Логвинович П.Н.**[1], кандидат технических наук, доцент;
**Гильдюк К.В.**[1], студентка; **Гошко И.А.**[1], студент

*[1]УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь,*
*[2]Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, Республика Казахстан*

# РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МАШИНЫ ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ ЖИДКИХ УДОБРЕНИЙ В ПОЧВУ

***Аннотация.*** *В статье предложена оригинальная конструкция устройства, способного обеспечить равномерное внесение строго определенной дозы жидких удобрений в почву.*

## Введение

Использование жидкого навоза в качестве органического удобрения является одним из эффективных способов повышения плодородия почв. В результате анаэробного сбраживания навоза разрушается клетчатка, значительное количество белкового азота переходит в аммиачный, доступный растениям, коагулирует органическое вещество, в процессе сбраживания ускоряется процесс разложения. Применение сброженной массы позволяет повысить урожайность на 30...40% [1, 2].

Целью исследований является разработка конструкции устройства, способного обеспечить равномерное внесение строго определенной дозы жидких удобрений в почву.

## Основная часть

Для решения поставленной цели нами поставлены следующие задачи исследований:

1. Провести патентные исследования и проанализировать технические средства для внесения жидких удобрений в почву.

2. Разработать конструкцию устройства, способного обеспечить равномерное внесение жидких удобрений в почву.

Проведенный патентный поиск показывает, что известно устройство для внесения жидких удобрений в почву, включающее барабан, радиально установленные на его корпусе рабочие органы, снабженные приемными камерами, выпускной клапанный механизм и кулачковый привод, смонтированный на оси барабана [3].

Недостатком данного устройства является наличие большого числа сопряженных и трущихся элементов, перекатывание барабана происходит непосредственно по почве, что может привести к его деформации и, как следствие, нарушению устойчивого контакта между роликом штока насоса и кулачком.

Известна машина для внесения жидких удобрений в почву, содержащая раму с опорными колесами, на которой смонтированы емкости для жидкости и газа, свободно установленные на полой оси барабаны с полыми иглами, внутри которой размещены имеющие отверстия камеры для жидкости и газа, сообщающиеся трубопроводами с соответствующими емкостями. В результате совмещения канала иглы с выходным отверстием одной из камер происходит подача жидкого удобрения в почву или продувка канала иглы воздухом [4].

Недостатком данного устройства является сложность конструкции, связанная с наличием камер для жидкости и газа. Кроме того, при увеличении скорости движения агрегата жидкость, оставшаяся в игле, впрыскивается на поверхность почвы или распыляется в воздухе.

Известно устройство для внесения жидких удобрений, включающее емкость для жидких удобрений, установленною на тракторе, компрессор, свободно установленные на полой оси нагнетательные барабаны с полыми иглами, при этом компрессор соединен непосредственно с емкостью для жидких удобрений, которая связана с полой осью нагнетательной магистралью, в полой оси выполнены сегментные окна для подачи жидких удобрений из емкости для жидких удобрений в полость игл, а полые иглы имеют в нижней части штоки-отсекатели [5].

Недостатком этого устройства является то, боковые каналы впрыска при погружении полых игл в почву забиваются ею и в момент внесения удобрений плотно сопряжены с почвенным слоем,

что препятствует равномерному поступлению жидких удобрений в почвенный слой в необходимых количествах.

На рисунке 1 представлена оригинальная конструкция устройства для внесения жидких удобрений в почву [6] (а) – вид сбоку; б) – разрез А-А общего вида барабана с полой иглой; в) – узел I; г) – узел II), включающая в себя платформу 1, емкость для жидких удобрений 2, предохранительный клапан 3, компрессор 4, приводимый в действие от вала отбора мощности трактора 5 через клиноременную передачу 6 и соединенный воздушной нагнетательной магистралью 7 с емкостью 2. Сзади трактора на полой оси 8 свободно вращаются нагнетательные барабаны 11 с полыми иглами 12.

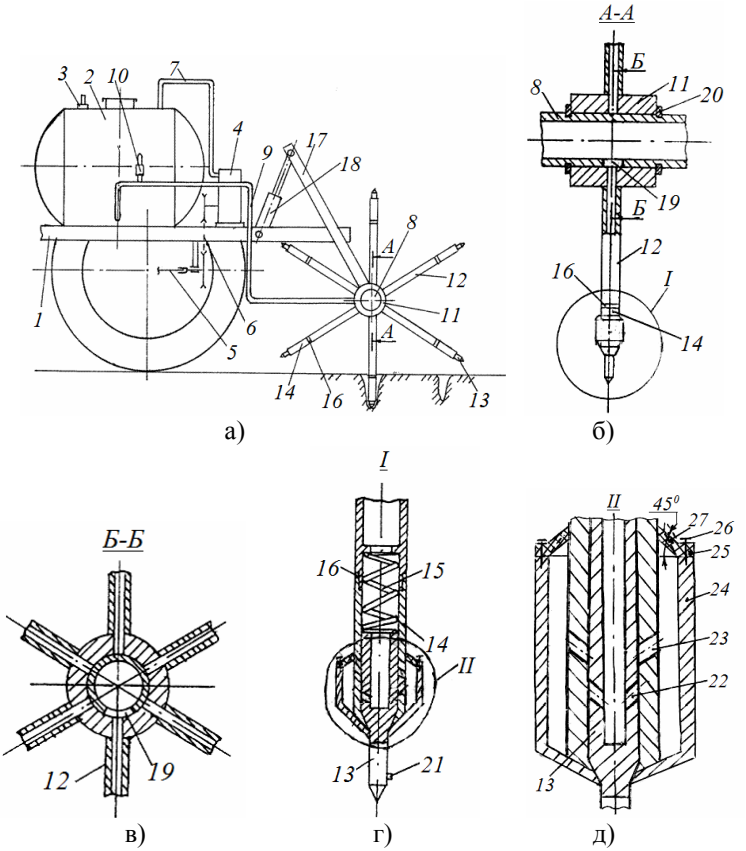



Рисунок 1 – Устройство для внесения жидких удобрений в почву

Полые иглы 12 имеют на концах штоки-отсекатели 13, установленные с возможностью относительного осевого перемещения в цилиндрических полых стаканах 14, при этом цилиндрические полые стаканы 14 в нижней части при нижнем положении полых игл 12 выполнены с наружной и внутренней коническими частями для ограничения возможного максимального выхода штока-отсекателя 13 за переделы цилиндрического полого стакана 14. Регулировка усилия пружины 15, установленной в каждом цилиндрическом полом стакане 14 полых игл 12 в их нижнем положении над штоком-отсекателем 13 и воздействующей на его в нижнем положении полых игл 12 сверху заглубляющим в почву усилием, осуществляется посредством установки определенного числа шайб – прокладок 16. Перевод машины в транспортное положение осуществляется с помощью поворотных кронштейнов 17 и гидроцилиндров 18. Полая ось 8 выполнена с сегментными нагнетательными окнами 19, через которые возможна подача жидкости в каналы полых игл 12 при совмещении отверстия канала иглы с окном 19 полой оси 8 в период погружения иглы 12 в почву. Возможно прекращение подачи жидкости при выходе отверстия нагнетательного барабана 11, а, следовательно, и канала полой иглы 12 из нагнетательной зоны окна 19. При возможном движении полой иглы 12 к почве шток-отсекатель 13, погружаясь в почвенный слой, преодолевая усилие пружины 15, перемещается вверх. Боковые сверления 22 внутреннего канала штока-отсекателя 13 имеют возможность совмещаться с боковыми отверстиями 23 полого канала цилиндрического полого стакана 14, при этом возможен впрыск жидкости в почву. Концентрично каждому цилиндрическому полому стакану 14 на его нижней в нижнем положении полых игл 12 конической части закреплен своей нижней частью в виде полого усеченного конуса включающий в свою внутреннюю полость боковые отверстия 23 полого канала цилиндрического полого стакана 14 полый цилиндр 24, внутренний диаметр которого на 6 мм больше наружного диаметра цилиндрического полого стакана 14, а к верхнему в нижнем положении полых игл 12 горизонтальному торцу полого цилиндра 24 с помощью кольцевого фланца 25 и винтов 26 прикреплен, выполненный из упругого материала, например, резины, полый усеченный прямой конус 27 с углом наклона образующих его конических поверхностей к оси симметрии равным 45 градусов, а меньшее

верхнее в нижнем положении полых игл 12 отверстие полого усеченного прямого конуса 27 плотно обхватывает наружную цилиндрическую поверхность цилиндрического полого стакана 14.

При работе устройства компрессор 4, приводимый в действие от ВОМ трактора 5, нагнетает воздух по нагнетательной магистрали 7 в емкость для жидких удобрений 2. Под действием давления, создаваемого в герметичной емкости для жидких удобрений 2 компрессором 4, жидкое удобрение по нагнетательной магистрали 9 поступает в полую ось 8. Особенностью полой оси 8 является наличие сегментных нагнетательных окон 19, через которые жидкость подается в каналы полых игл 12 при совмещении отверстия канала иглы с окном 19 полой оси 8 в период погружения полой иглы 12 в почву. Подача жидкости прекращается при выходе отверстия нагнетательного барабана 11, а, следовательно, и канала полой иглы 12 из нагнетательной зоны окна 19. При движении полой иглы 12 к почве, шток-отсекатель 13, погружаясь в почвенный слой, преодолевая усилие пружины 15, перемещается вверх. Боковые сверления 22 внутреннего канала штока-отсекателя 13 совмещаются с боковыми отверстиями 23 цилиндрического полого стакана 14, жидкие удобрения поступают в полость, образованную наружной поверхностью цилиндрического полого стакана 14 и внутренней цилиндрической поверхностью полого цилиндра 24, далее давлением жидкости отжимают кромку меньшего верхнего в нижнем положении полых игл 12 отверстия полого усеченного прямого конуса 27 от плотно за счет упругих сил обхватываемой ею наружной цилиндрической поверхности цилиндрического полого стакана 14 (показано штриховыми линиями), и жидкие удобрения не встречая на первом этапе сопротивления со стороны комков почвы поступают в почвенный слой на заданной глубине в необходимых количествах, регулируемых создаваемым компрессором давлением, путем беспрепятственного впрыска жидкости в почву. При выходе иглы 12 из почвы сжатая пружина 15 возвращает шток-отсекатель 13 в нижнее положение, боковые сверления разобщаются, впрыск жидкости прекращается, объем жидкости, оставшийся в полой игле 12, стакане 14 и полости между ним и внутренней цилиндрической поверхностью полого цилиндра 24, отсекается, в том числе за счет возвращения в первоначальное положение упругой кромки меньшего верхнего в нижнем положении по-

лых игл 12 отверстия конуса 27 и плотно за счет упругих сил обхватывания ею наружной цилиндрической поверхности цилиндрического полого стакана 14, и сохраняется до нового цикла впрыска, тем самым исключается подтекание жидких удобрений по иглам и попадание их на поверхность почвы. Кроме того, при движении штока-отсекателя 13 вверх происходит его самоочищение от почвы. Перепады давления в нагнетательной магистрали 9, вследствие цикличности подачи жидкости, компенсируются при помощи обратного клапана 10, соединяющего нагнетательную магистраль 9 с емкостью для жидких удобрений 2. Сброс давления воздуха в емкости для жидких удобрений 2, в случае засорения нагнетательной магистрали 9, производится через предохранительный клапан 10. Стопорные кольца 20 предотвращают горизонтальное смещение нагнетательного барабана 11 по полой оси 8. Перемещение штока-отсекателя 13 при погружении в почву ограничивается штифтом 21.

## Заключение

На основании проведенных патентных исследований предложена оригинальная конструкция устройства, способного обеспечить равномерное внесение строго определенной дозы жидких удобрений в почву.

## Список использованных источников

1. Рязанов, М.В. Повышение эффективности использования жидких органических удобрений путем разработки и обоснования параметров агрегата для подпочвенного внесения : автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.20.01 / М.В. Рязанов; ФГОУ Белгородская государственная сельскохозяйственная академия. – Мичуринск – Наукоград, 2009. – 19 с.

2. Совершенствование устройства для внесения в почву жидких удобрений / Н.Н. Романюк [и др.] // Материалы 2 Междунар. науч.-практич. конф. «Актуальные проблемы и перспективы развития сельских территорий и кадрового обеспечения АПК», 9–10 июня 2022г. / редкол. : А.В. Миранович [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2022. – С. 155–159.

3. А.с. СССР №1053772, кл. А01С 23/02, 1983.

4. А.с. СССР №1045840, кл. А01С 23/02, 1983.

5. Патент RU №2421973, МПК А01С 23/02, 2011, Бюл. №18.

6. Устройство для внесения жидких удобрений в почву : патент на изобретение 35828 В Респ. Казахстан, МПК А01С 23/02 / С.О. Нукешев (KZ); Н.Н. Романюк (BY); В.А. Агейчик (BY); К.В. Гильдюк (BY); заявитель Нукешев Саяхат Оразович (KZ). – №2021/0459.1; заявл. 27.07.2021; зарегистрир. 09.09.2022 // Государственный реестр изобретений Респ. Казахстан. – 2022. – Бюл. №36.

**Abstract.** The article proposes an original design of a device capable of ensuring uniform application of a strictly defined dose of liquid fertilizers to the soil.

УДК 631.8; 631.171

**Романюк Н.Н.**[1], кандидат технических наук, доцент;
**Агейчик В.А.**[1], кандидат технических наук, доцент;
**Нукешев С.О.**[2], доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН РК;
**Еднач В.Н.**[1], кандидат технических наук, доцент;
**Логвинович П.Н.**[1], кандидат технических наук, доцент;
**Гильдюк К.В.**[1], студент; **Гошко И.А.**[1], студентка

*[1]УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь,*
*[2]Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, Республика Казахстан*

# К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

***Аннотация.*** *В статье предложена оригинальная конструкция устройства для внесения минеральных удобрений, способного повысить качество крошения почвенных глыб и выравненность поверхности поля.*

## Введение

Комплексное использование машин и оборудования на основе передовых индустриальных технологий производства сельскохо-

зяйственных культур представляет собой качество присущее современной технике в растениеводстве. Комплексная механизация работ не возможна без научно-обоснованной системы машин, обеспечивающей механизацию всех основных и вспомогательных операций возделывания сельскохозяйственных культур [1, 2].

Целью исследований является разработка конструкции устройства для внесения минеральных удобрений, способного повысить качество крошения почвенных глыб и выравненность поверхности поля.

**Основная часть**

Для решения поставленной цели нами поставлены следующие задачи исследований:

1. Провести патентные исследования и проанализировать технические средства для внесения минеральных удобрений в почву.

2. Разработать конструкцию устройства для внесения минеральных удобрений, способного повысить качество крошения почвенных глыб и выравненность поверхности поля.

Проведенный патентный поиск показывает, что известен способ внесения минеральных удобрений и устройство для его осуществления [3], включающий обработку почвы стрельчатыми лапами с образованием плужной подошвы с внесением на нее минеральных удобрений.

Недостатком этого способа является неравномерность распределения минеральных удобрений по ширине захвата рабочего органа, а также забиваемость рабочих органов растительными остатками и почвой.

Известен способ внесения минеральных удобрений и устройство для его осуществления [4], при этом устройство для внесения удобрений, содержит раму с установленными на нем многорядными рабочими органами, опорные катки и два бункера с тукопроводами, снабженное 4-я рядами рабочих органов: 1, 2 ряды – стрельчатые лапы с шириной захвата 0,33 м проводят обработку почвы и внесение минеральных удобрений на глубину 16–20 см, 3, 4 ряды – плоскорезные двухъярусные лапы, представляющие собой закрепленную на раме стойку с закрепленными на ней верхнюю и нижнюю плоскорезные лапы с углом раствора 75° и с долотом впереди, проводящие плоскорезную обработку и внесение минеральных удобрений на глубины 8–12 см и 20–27 см, при этом плоскорезные лапы установлены на двух уровнях, со сдвигом верхней, меньшей ширины лапы, назад по ходу, к тому же за стойкой последовательно прикреплены две трубки-тукопровода.

К недостаткам описанного устройства относятся недостаточное рыхление почвы и выравнивание поверхности поля, что приводит к

образованию почвенных глыб и борозд, которые после засыхания плохо поддаются последующей обработке.

На рисунке 1 представлена оригинальная конструкция устройство для внесения минеральных удобрений в почву [5] (а) – вид сбоку; б) – вид сверху; в) – многозаходняя спираль с зубьями левой стороны, считая по направлению движения агрегата, общий вид; г) – схема деформации почвы соседними заходами спирали с зубьями и без них; д) – схема относительных вертикальных колебаний соседних заходов спирали), содержащая раму 1, емкости 2 с тукопроводами 3 для минеральных удобрений, стрельчатые рабочие органы 1-го и 2-го рядов 4, крепящихся к раме 1 и двухъярусные плоскорезные рабочие органы 3-го и 4-го рядов, представляющих собой закрепленную на раме 1 стойку 5, с закрепленными на ней верхнюю 6 и нижнюю 7 плоскорезные лапы с углом раствора 75° и с долотом 8 впереди.

Плоскорезные верхняя 6 и нижняя 7 лапы установлены на двух уровнях, со сдвигом верхней 6, меньшей ширины лапы, назад по ходу. За стойкой последовательно прикреплены две трубки-тукопровода 9. Туковысевающие аппараты 10 получают привод от прикатывающих катков 11 через цепную передачу 12 и бесступенчатой коробки передач 13. Прикатывающий каток 11 выполнен в виде прикрепленных к раме 1 посредством левой и правой рамок 14, закрепленных на горизонтальных перпендикулярных направлению движения валах 15 ротационных рабочих органов, левый из которых выполнен в виде двухзаходней спирали с заходами 16 и 17, а правый – выполнен в виде двухзаходней спирали с заходами 18 и 19, витки которых связаны с горизонтальными валами 15 посредством систем упругих элементов 20 и 21, состоящих каждая из трёх упругих элементов, расположенных радиально к валам 15 под углами $120^0$ между собой.

На рабочей поверхности заходов 16 и 19 спиралей установлены игольчатые зубья 22, а спирали смежных заходов 17 и 18 выполнены без зубьев. Система 21, крепящая витки спиралей 16 и 19 с игольчатыми зубьями 22 к валу 15, смещена по фазе на острый угол φ равный $60^0$ относительно системы 20, крепящей спирали 17 и 18 без зубьев. Спирали левой стороны 16 и 17, считая по направлению движения орудия, выполнены с правым направлениями навивки, а спирали правой стороны 18 и 19 выполнены соответственно с левым направлением навивки. Наружный диаметр витков спирали равен 500 мм, диаметр прутка спирали – 20 мм, угол подъёма

витка – 10 градусов, жесткость пружин подвески спиралей 20 Н/мм при их предварительном натяжении 10 мм, длина зубьев – 100 мм.

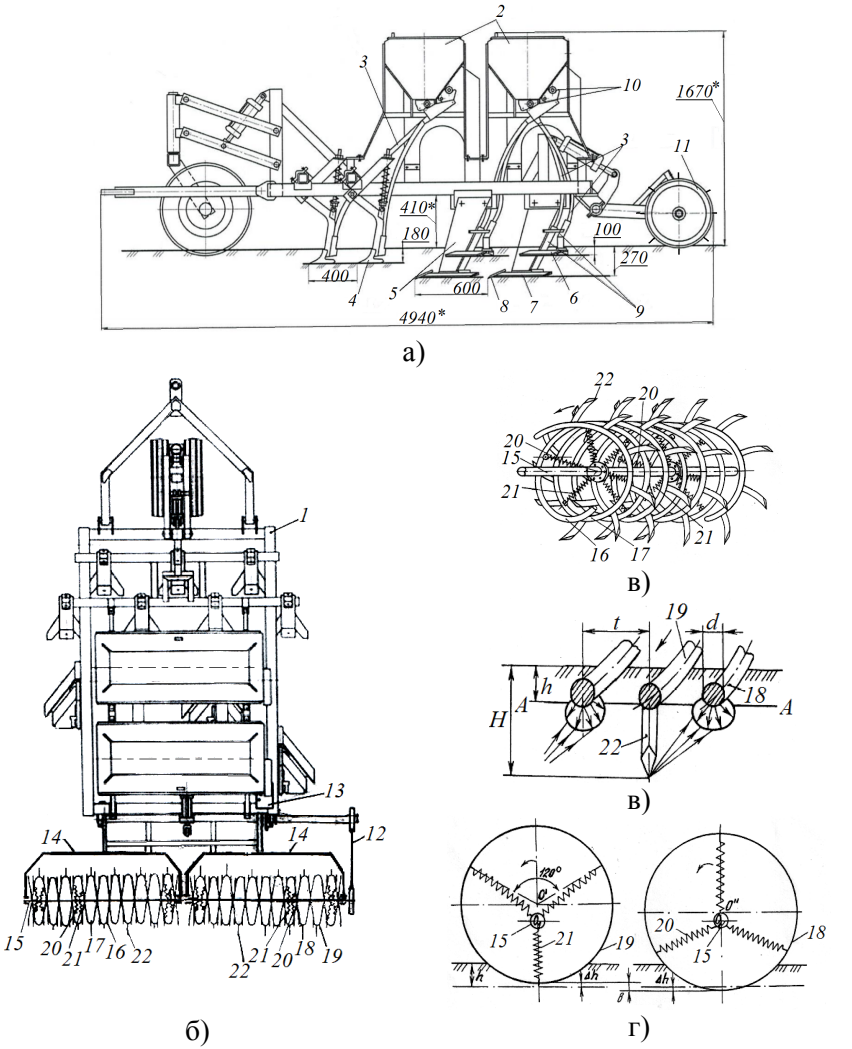



Рисунок 1 – Устройство для внесения минеральных удобрений

При движении устройства в рабочем положении туковысевающие аппараты 10 получают привод от прикатывающих катков 11 и из бункера минеральные удобрения, дозированно, через тукопро-

воды 3 и стойки тукопроводы 9 попадают на рассеиватели рабочих органов 4, 6 и 7 и далее распределяются по их ширине захвата. Стрельчатые рабочие органы 4 проводят обработку почв на глубину 16–20 см и одновременно внутрипочвенно вносят дифференцированные дозы минеральных удобрений горизонтальной лентой с шириной 20–25 см. Плоскорезные двухъярусные лапы 6 и 7 проводят плоскорезную обработку на глубины 8–12 см и 20–27 см и горизонтальным экраном вносят в два яруса минеральные удобрения на ширину 40–55 см. Рабочие органы 4, 6, 7 обеспечивают высокое качество обработки, особенно переуплотненных и пересохших почв. В процессе работы рабочие органы приподнимают и смещают пласт, разбивают и крошат уплотненные участки почвы. Так как плоскорезные верхняя 6 и нижняя 7 лапы установлены на двух уровнях, со сдвигом верхней 6, меньшей ширины лапы, назад по ходу, что способствует снижению забиваемости рабочих органов.

Поверхностный слой почвы после прохода вышеописанных рабочих органов подвергается дополнительной обработке двухзаходними спиралями, являющимися также опорно-приводными устройствами, основной причиной вращения которых является зацепление с почвой зубьев 22, что и определяет главным образом направление воздействия спиралей на почвенный слой в горизонтальной плоскости, при этом задние поверхности нижних частей спиралей сдвигают уже подвергшуюся наибольшему воздействию рабочих органов и поэтому наименее сопротивляющуюся рыхлую почву к центру. Заходы 16–19 спиралей по ширине захвата производят обработку поверхности, оставшейся от прохода стрельчатых рабочих органов 4 и плоскорезных двухъярусных верхней 6 и нижней 7 лап, почвенные комки и глыбы, оставшиеся после их прохода, подвергаются комплексному воздействию с одной стороны игольчатых зубьев 22, расположенных на первых заходах 16 и 19 спиралей, и витков вторых заходов 17 и 18 спиралей без зубьев, закреплённых на валах 15, соответственно системами 20 и 21 упругих элементов. При движении спиралей под действием на валы рамок 13 и 14, а также в результате реакции почвы на спирали центры валов 15 (точка $O^1$) смещаются вниз относительно геометрических центров заходов 16–19 спиралей (точки $O^1$ и $O^{11}$). При вращении заходов 16–19 спиралей и смене упругих элементов систем 20 и 21 (одна или две пружины вверху) и изменении результирующих усилий пружин в системах 20 и 21 создаются вынужденные колебания между валами 15 и заходами 16–19 спиралей. При движении заходов 16–19 спиралей в

почве на средней глубине h смена положений упругих элементов систем 20 и 21 вызывает колебание заходов спиралей, прикреплённых к одному и тому же валу в почве на величину Δh. Смещение по фазе систем 20 и 21 на угол $60^0$ вызывает колебания соседних заходов 16–17 и 18–19 каждой спирали в противофазе относительно друг друга. Амплитуда указанных относительных колебаний ровна 2Δh=5…8 мм при различных параметрах систем 20 и 21. Сочетание полученной вибрации заходов 16-19 спиралей с деформацией почвы путём накалывания глыб игольчатыми зубьями 22, движущимися на средней глубине H, и деформацией смятия от витков заходов 17 и 18 спиралей, движущихся на средней глубине h, позволяет получить эффект улучшения крошения почвенных глыб. При этом деформация сдвига почвы от воздействия игольчатых зубьев 22 на заходах 16 и 19 спиралей распространяется в верхние слои почвы и пересекается с деформацией смятия почвы от витков заходов 17 и 18 спиралей без зубьев, что сопровождается защемлением глыб почвы и их интенсивным крошением при одновременном выравнивании поверхности почвы.

Таким образом, после прохода катка 11 поверхность поля будет выравненной с мелкокомковатой структурой.

**Заключение**

На основании проведенных патентных исследований предложена оригинальная конструкция устройства для внесения минеральных удобрений, способного повысить качество крошения почвенных глыб и выравненность поверхности поля.

Список использованных источников

1. Совершенствование орудия для основной обработки почвы и внутрипочвенного внесения минеральных удобрений / И.Н. Шило [и др.] // Сборник научных статей Междунар. науч.-практич. конф. «Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве» / редкол. : Н.Г. Серебрякова [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2020. – С. 108–111.

2. Романюк, Н.Н. К вопросу разработки конструкции устройства для внесения минеральных удобрений / Н.Н. Романюк, С.О. Нукешев, А.М. Хартанович // Материалы VII Междунар. науч.-практич. конф. «Актуальные проблемы формирования кадрового потенциала для инновационного развития АПК», 4–5 июня 2020г. / редкол. : Н.Н. Романюк [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2020. – С. 204–206.

3. А.с. SU №1657084, МПК A01B 49/06, A01B 79/02, бюл. №23, 23.06.1991 г.

4. Патент Республики Казахстан KZ 33602, МПК A01B 49/06; A01B 79/02, 08.05.2019. Бюл.19.

5. Устройство для внесения минеральных удобрений : патент на изобретение 35827 А4 Респ. Казахстан, МПК A01B 49/06 / С.О. Нукешев (KZ); Н.Н. Романюк (BY); В.А. Агейчик (BY); С.А. Войнаш (RU); А.Е. Аюпова (KZ); заявитель Нукешев Саяхат Оразович. – № 2021/0499.1; заявл. 16.08.2021; зарегистрир. 09.09.2022 // Государственный реестр изобретений Респ. Казахстан. – 2022. – Бюл. № 36.

**Abstract.** The article proposes an original design of a device for applying mineral fertilizers that can improve the quality of crumbling of soil blocks and the alignment of the field surface.

УДК 621.8

**Чигарев Ю.В.[1],** доктор физико-математических наук, профессор;
**Крук И.С.[1],** кандидат технических наук, доцент,
проректор по научной работе – директор НИИМЭСХ БГАТУ;
**Ракова Н.Л.[1],** кандидат технических наук, доцент;
**Воробей А.С.[2],** кандидат технических наук,
научный сотрудник лаборатории механизации производства овощей и корнеклубнеплодов
[1]*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь,*
[2]*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, г. Минск, Республика Беларусь*

# К ОЦЕНКЕ НЕРАВНОМЕРНОСТЕЙ КОЛЕБАНИЙ ПРИВОДОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

***Аннотация.*** *В работе рассмотрен колебательный процесс возвратно-поступательного движения привода, который широко используется в различных машинах.*

Приводы возвратно-поступательного движения рабочих органов достаточно хорошо исследованы с точки зрения их колебательного движения [1–3]. Тем не менее остается немало еще неизученных вопросов связанных с возможностью снижения динамических нагрузок на элементы привода. Известно, что применение рекуператора энергии в приводе возвратно-поступательно движущегося рабочего органа приводит к существенному снижению динамических нагрузок.

Моделью колебательной системы привода возвратно-поступательно движущегося рабочего органа может служить модель с присоединением к приводу пружинного элемента, упругая характеристика которого может быть нелинейной функцией.

Уравнение движения привода с помощью принципа Даламбера приводится к виду [1, 2]

$$J(\varphi)\ddot{\varphi}+0,5\frac{dJ(\varphi)}{d\varphi}\dot{\varphi}^2=M_{\text{кр}}-M_c\left(\varphi,\dot{\varphi}\right), \qquad (1)$$

где φ – обобщенная координата (угол поворота кривошипа); $J$ (φ) – момент инерции; $M_{\text{кр}}$ – момент связанный с моментом на валу двигателя; $M_c$ – приведенный к кривошипу момент сил сопротивления.

Уравнение (1) представим в виде

$$\left[J_0+\tilde{J}\left(\varphi\right)\right]\ddot{\varphi}+\frac{1}{2}\frac{d\tilde{J}\left(\varphi\right)}{d\varphi}\dot{\varphi}^2=M_{\text{кр}}\left(\dot{\varphi}\right)-M_c^0\left(\dot{\varphi}\right)-\tilde{M}_c\left(\varphi,\dot{\varphi}\right), \qquad (2)$$

где $J\left(\varphi\right)=J_0+\tilde{J}\left(\varphi\right), J_0=\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}J\left(\varphi\right)\mathrm{d}\varphi$ – среднее значение приведенного момента инерции; $\tilde{J}\left(\varphi\right)$ – переменная составляющая; $M_c\left(\varphi,\dot{\varphi}\right)=M_c^0\left(\dot{\varphi}\right)+\tilde{M}_c\left(\varphi,\dot{\varphi}\right)$, $M_c^0\left(\dot{\varphi}\right)=\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}M_c\left(\varphi,\dot{\varphi}\right)d\varphi$ – среднее значение приведенного момента сил сопротивления; $\tilde{M}_c\left(\varphi,\dot{\varphi}\right)$ – переменная составляющая.

Из анализа уравнения (2) следует, что источником неравномерности вращения кривошипа являются слагаемые $\tilde{J}(\varphi)$, $\tilde{M}_c\left(\varphi,\dot{\varphi}\right)$, зависящие от угла поворота $\varphi$. При их отсутствии возможен был бы режим равномерного вращения. В этом случае уравнение (2) записывается в виде

$$J_0\ddot{\varphi}=M_{\text{кр}}\left(\dot{\varphi}\right)-M_c^0\left(\dot{\varphi}\right). \qquad (3)$$

Уравнение (3) может иметь решение вида $\dot{\varphi}=\omega_0=\text{const}$, для него значение $\omega_0$ должно удовлетворять условию

$$M_{\text{кр}}\left(\omega_0\right)-M_c^0\left(\omega_0\right)=0. \qquad (4)$$

Зависящие от $\varphi$ слагаемые приведут к отклонению угловой скорости от постоянного значения $\omega_0$. В качестве нулевого приближения выбирается решение уравнения (3).

Перепишем уравнение (2) следующим образом:

$$J_0\ddot{\varphi}-M_{\text{кр}}\left(\dot{\varphi}\right)+M_c^0\left(\dot{\varphi}\right)=-\tilde{M}_c\left(\varphi,\dot{\varphi}\right)-\tilde{J}(\varphi)\ddot{\varphi}-\frac{1}{2}\frac{d\tilde{J}(\varphi)}{d\varphi}\dot{\varphi}^2. \qquad (5)$$

Принимая в качестве первого приближения функцию $\psi(t)$, получаем уравнение для первого приближения

$$J_0\ddot{\psi}-M_{\text{кр}}\left(\dot{\psi}\right)+M_c^0\left(\dot{\psi}\right)=-\tilde{M}_c\left(\omega_0 t,\omega_0\right)-\frac{1}{2}\frac{d\tilde{J}\left(\omega_0 t\right)}{d\varphi^0}\omega_0^2. \qquad (6)$$

$$\ddot{\varphi}=\omega_0+\dot{\psi}(t),\left|\dot{\psi}(t)\right|\ll\omega_0.$$

Нулевому приближению $\dot{\varphi}=\omega_0 t$ соответствуют корни уравнения (4), которые наиболее удобно определить графически. Рассмотрим поведение (3) в окрестности решения

$$\dot{\varphi}=\omega_0+v(t), \qquad (7)$$

где $v(t)$ – малое приращение решения.

После подстановки (7) в (3) и, удержания членов первого порядка малости, получим

$$J_0 \dot{\nu} = M_{кр}(\omega_0) + \frac{dM_{кр}}{d\dot{\varphi}}(\omega_0)\nu - M_c^0(\omega_0) - \frac{dM_c^0}{d\dot{\varphi}}(\omega_0)\nu.$$

Учитывая (4), получаем уравнение для отклонения $\nu$:

$$J_0 \dot{\nu} + (s + \vartheta)\nu = 0, \qquad (8)$$

где $s = -\frac{dM_{кр}}{d\dot{\varphi}}(\omega_0)$ – крутизна характеристики движущего момента, приложенного к кривошипу; $\vartheta = \frac{dM_c^0}{d\dot{\varphi}}(\omega_0)$ – крутизна среднего момента сил сопротивления, приведенного к кривошипу.

Общее решение уравнения (8) имеет вид

$$\nu = C \exp\left[-(s + \vartheta) J_0^{-1} t\right], \qquad (9)$$

которое при $(s + \vartheta) > 0$ с ростом $t$ стремится к нулю. Следовательно, в этом случае движение будет устойчивым. Если же $(s + \vartheta) < 0$, то $\nu(t)$ с ростом $t$ увеличивается и при малом начальном отклонении угловая скорость будет повышаться. Такой режим вращения будет неустойчивым.

Приведены условия при которых неравномерный характер колебательного процесса носит ограниченный характер близкий к автоколебаниям.

Список использованных источников

1. Бойко, Л.И. Научные основы механики приводов колеблющихся рабочих органов машин : дис. …. д-ра техн. наук : 01.02.06 / Л.И. Бойко ; НАН Беларуси Ин-т механики и надежности машин. – Минск, 2004.– 305 с.

2. Ракова, Н.Л. Повышение эффективности уборочных машин совершенствованием приводов рабочих органов возвратно-поступательного движения : дис. … канд. тех. наук : 05.20.01; 01.02.06 / Н.Л. Ракова ; Бел. агр. техн. ун-т. – Минск, 2003.– 210 с.

3. Левитский, Н.И. Теория механизмов и машин / Н.И. Левитский. – М. : Изд-во «Наука», 1990. – 590 с.

**Abstract**. The work deals with the oscillating process of reciprocation of the drive, which is widely used in various machines.

УДК 621.9.048.6

**Щурин К.В.,** доктор технических наук, профессор;
**Романюк Н.Н.,** кандидат технических наук, доцент;
**Еднач В.Н.,** кандидат технических наук, доцент;
**Паныш Ю.Н.**
*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь*

# ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА МАГНИТНОЙ АКТИВАЦИИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВ

***Аннотация.*** *Разработаны методика реализации рациональных магнитотропных параметров и новые авторские конструкции магнитных активаторов, создающих переменное магнитное поле постоянными магнитами путем комбинирования ориентации их полюсов. Рассмотрены методы косвенной оценки эффективности процесса магнитной активации немагнитных жидких сред, и в качестве приоритетного рекомендован метод сравнительной оценки вязкости рабочей жидкости до активации и после неё.*

В настоящее время дальнейшие высокие темпы повышения энергетических и экологических показателей тепловых двигателей для их сложившихся рабочих процессов представляются маловероятными [1]. Основной характеристикой качества топлива, формирующей показатели его энергетической и экологической эффективности, является теплотворная способность, которая преимущественно зависит от полноты сгорания топлива. Применительно к жидким топливам величина низшей теплотворной способности $Q_н$ (МДж/кг) определяется по эмпирической формуле Д.И. Менделеева:

$$Q_н = 0,339[C] + 1,256[H] + 0,109[S] - 0,109[O] - 0,025[W], \quad (1)$$

в скобках указано процентное массовое содержание соответствующих химических элементов – углерода, водорода, серы, кисло-

рода и влаги $W$ в составе топлива; 0,339, 1,256, 0,109 – теплоты сгорания, необходимые для сжигания 1 % соответствующего элемента.

Отличительной особенностью молекул компонентов в составе немагнитных жидких сред, является межмолекулярное взаимодействие, в результате которого образуются устойчивые системы – кластеры (ассоциаты) [1–4], состоящие из большого числа молекул.

Образованию молекулярных кластеров способствуют многие факторы, например, длительность хранения топлива в емкостях, температура среды, электростатическое взаимодействие с деталями топливной системы и др. При воспламенении топлива в камерах сгорания наличие молекулярных кластеров существенно затрудняет превращение полной химической энергии в тепловую, поскольку значительная часть молекул в момент воспламенения недоступна для кислорода [1–4]. Задачей повышения энергетической и экологической эффективности является повышение теплотворной способности топлива путем дефрагментации молекулярных кластеров до выделения отдельных молекул.

Малоэнергетические внешние воздействия позволяют без заметных дополнительных энергетических затрат или с использованием внутренних резервов вещества перестраивать его структуру. В результате достигаются эффекты, соответствующие увеличению или, напротив, снижению упорядоченности в надмолекулярной структуре веществ. При этом чаще всего используют введение присадок и внешние физические воздействия – ультразвуковые, электрические, электромагнитные, магнитные и другие [4–9], позволяющие повысить степень упорядоченности внутримолекулярных и надмолекулярных структур. Это способствует достижению ***цели настоящего исследования – повышению КПД двигателя и снижению количества вредных компонентов выхлопных газов за счет увеличения полноты сгорания топлива*** посредством его физико-химической активации с выделением дополнительной тепловой энергии и, как следствие, увеличением энтальпии рабочих процессов. Среди названных малоэнергетических физических воздействий в наибольшей степени апробированы ультразвуковые, электромагнитные и магнитные методы.

В [6, 7] рассмотрены методы и средства внешних ультразвуковых воздействий на дизельное топливо, реализующие кавитацион-

ный эффект обработки как эффективный способ безреагентной модификации топлива, позволяющий в значительной степени улучшить его физико-химическую структуру, в первую очередь, фракционный состав, обеспечивающий снижение вязкости и депарафинизации топлива. Это приводит к увеличению цетанового числа, улучшению прокачиваемости и фильтруемости топлива до 20 %, снижению температуры вспышки на 12 %, снижению коксуемости на 10 %, повышению коррозионной стойкости. Кавитация сопровождается и частичным разрушением самих молекул с образованием свободных радикалов, что дополнительно инициируют повышение теплотворной способности в процессе сгорания топлива.

Магнитная обработка (активация) жидкого углеводородного топлива является наиболее предпочтительной по совокупности определяющих технико-экономических показателей. Аккумулированная в постоянных магнитах энергия магнитного поля является одним из самых эффективных, экономичных и доступных видов энергии. Во многих областях человеческой деятельности (в медицине, сельском хозяйстве, промышленности, теплоэнергетике, коммунальном хозяйстве и т.д.) накоплен положительный опыт использования постоянных магнитных полей, создаваемых специальными устройствами – магнитотронами или магнитоактиваторами, которые действуют на неферромагнитные вещества, имеющие различную физико-химическую природу [5, 8–11]. Широкое использование энергии постоянного магнитного поля ограничено недостаточной теоретической проработкой проблемы действия сил магнитного поля из-за сложности структурных и энергетических превращений, протекающих в веществах различного строения на микро- и макроуровне.

Задачей следующего уровня для повышения теплотворной способности топлива является дефрагментация молекул на свободные радикалы и атомы. При воздействии магнитных полей с оптимальными значениями магнитотропных параметров в структуре топлива возникают различные радикалы, жидкая фаза частично преобразуется в газообразную, выделяется свободный водород, из метана образуется метил, из этана – этил, из бутана – бутил и т.д. Свободные радикалы – это сравнительно устойчивые фрагменты органических соединений, в которых отсутствует один атом водорода, т.е. радикалы имеют отрицательный электрический заряд и меньшую

химическую устойчивость. Рациональное изменение магнитотропных параметров процесса активации имеет своей целью повышение выделяемой тепловой энергии за счет полноты сгорания.

В нашем случае для разрушения кластеров и внутримолекулярных связей используется энергия магнитного поля (ЭМП). На рис. 1 показаны этапы воздействия магнитного поля на единичный диполь.

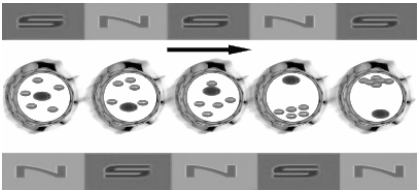



Рисунок 1 – Движение молекулы в переменном магнитном поле

Во-первых, магнитное поле снимает электростатический заряд с топлива, который оно получило при протекании в топливных магистралях и меняет его структуру. Во-вторых, изменяется вязкость и все параметры, входящие в нее: диэлектрическая проницаемость, поверхностное натяжение жидкости, константы горения, растворимость кислорода в топливе и т.д. В-третьих, при поляризации происходит упорядочение ориентаций спиновых и орбитальных моментов хаотично движущихся молекул. И, в-четвертых, благодаря переменному магнитному полю ассоциаты-кластеры, совершая колебательные движения, разрушаются на отдельные диполи, которые быстрее вступают в реакцию горения. При этом также высвобождаются свободные радикалы и отдельные элементы молекулы, что дополнительно повышает теплотворную способность.

Все выше перечисленные факторы влияют на достижение поставленной цели – увеличение энергетических и экологических показателей сгорания топлива за счет полноты сгорания его компонентов. При расчетах аппаратов для магнитной активации в [1, 5] и других работах наиболее существенными полагают следующие магнитотропные параметры: напряженность магнитного поля (МП); градиент напряженности МП; время экспозиции в МП; количество пересечений разнонаправленного МП активируемой жидкостью; скорость протекания жидкости в МП.

Зная вышеперечисленные параметры, определяется энергия магнитного поля (максимальное энергетическое произведение, объемная плотность энергии) $w$ (кДж/м$^3$), которая зависит от магнитной индукции ($B$) и напряженности магнитного поля ($H$).

Согласно теории близкодействия, ЭМП распределена по всему объему $V$ пространства, в котором существует МП. ЭМП, заключенная в единичном объеме этого поля, называется объемной плотностью энергии магнитного поля $w$ [12]:

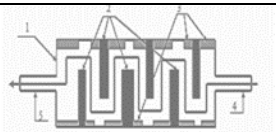
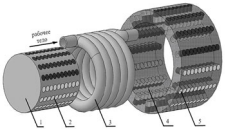
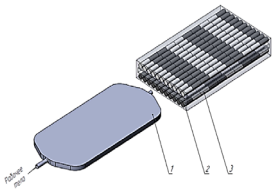
$$w = \frac{W}{V}\frac{B^2}{2\mu\mu_0} = \frac{BH}{2} \qquad (2)$$

где $B$ – магнитная индукция, Тл; $\mu_0$ – магнитная постоянная, Гн/м; $H$ – напряженность магнитного поля, А/м; $\mu$ – относительная магнитная проницаемость.

Полимерные цепочки органического топлива, проходя через магнитное поле переменной полярности, совершают колебательные движения и разрываются, увеличивая количество активных сторон молекул, одновременно вступающих в процесс окисления.

В настоящее время созданы многочисленные конструкции аппаратов магнитной активации топлив, функционирующие как на электромагнитном принципе, так и на создании МП постоянными магнитами с периодической сменой полярности. Известные конструкции аппаратов для магнитной активации жидкостей (АМАЖ) имеют низкий коэффициент использования рабочего объема (КИРО), равный отношению длины зон, в которых происходит активация, к общей длине рабочей части аппарата, и не превышающий 0,75–0,8. При скорости протекания топлива 0,5–1,0 м/с время экспозиции в магнитном зазоре – не более 0,2 с. Для увеличения времени экспозиции конструктивно реализуют либо увеличение длины рабочей зоны АМАЖ, либо снижение скорости движения жидкости путем локального увеличения сечения трубопровода. На основе данной концепции нами реализованы и запатентованы конструкции АМАЖ [1], во многом свободные от перечисленных недостатков (таблица 1).

Таблица 1 – Улучшенные конструкции аппаратов для магнитной активации жидкостей

| Конструкция, патент | Преимущества и недостатки | Примечания |
|---|---|---|
|  *1* – неферромагнитный корпус; *2* – магниты; *3* – неферромагнитные крепежные пластины; *4* – входной патрубок; *5* – выходной патрубок (патент 2411190 РФ, МПК G 02 F 1/48 «Магнитный активатор жидких сред», авторы – В.А. Помазкин, К.В. Щурин, Е.В. Цветкова) | *Преимущества*: КИРО более 2,5; время экспозиции в МП – более 2 с. *Недостаток* – турбулентность потока с кавитационными явлениями | Поток рабочей жидкости зигзагообразно движется в оптимальных по напряженности магнитных полях, пересекая магнитные силовые линии под углом, близким к 90°, и находится под воздействием магнитного поля большой промежуток времени |
|  *1* – внутренняя обойма с магнитами *2*; *3* – спиральный трубопровод; *4* – внешняя обойма с магнитами *5* (патент № 2693158 РФ «Аппарат магнитной активации жидкостей», авторы – К.В. Щурин, И.Г. Панин, А.А. Фокин) | *Преимущества*: ламинарное движение потока жидкости под углом 90° к силовым линиям магнитного потока; КИРО свыше 20 | Переменное магнитное поле создается изменением полярности магнитов на противоположную через определенные угловые промежутки – секторы, содержащие заданное количество магнитов |
|  *1* – расширительная емкость с патрубками; *2* – кассета с магнитами *3* (патент № 2703837 РФ «Магнитный активатор», авторы – К.В. Щурин, И.Г. Панин, А.А. Фокин) | *Преимущества*: ламинарное движение потока жидкости под углом 90° к силовым линиям магнитного потока; увеличение времени экспозиции жидкости в магнитном поле в 20–25 раз | Переменное магнитное поле создается изменением полярности магнитов на противоположную через определенные промежутки, равные длине магнита |

Оценка эффективности конструктивных решений АМАЖ и, как следствие, степени активации осуществляется косвенными методами на основе анализа изменений физических свойств жидкости: диэлектрической проницаемости, электропроводности, магнитной восприимчивости, коэффициента преломления, плотности, вязкости, поверхностного натяжения, скорости испарения и др. [1, 5]. В таблице 2 приведен анализ наиболее распространенных физических методов оценки эффективности активации, который дает возможность мотивированного выбора наиболее адекватного метода активации и конструкции АМАЖ.

Все приведенные в таблице 2 показатели тесно коррелированы, и объединяющим параметром является вязкость жидкости (μ – динамический коэффициент вязкости). В этой связи логично принять сравнительный показатель вязкости (или поверхностного натяжения) за практический способ косвенной оценки эффективности активации путем сравнения этих показателей до проведения активации и после нее.

Таблица 2 – К применению косвенных методов оценки эффективности активации

| Расчетная зависимость | Примечание |
|---|---|
| Плотность | |
| 1. С учетом температурного расширения: $p = \frac{\rho_{ст}}{1+\beta t(T\text{-}T_{ст})}$; 2. Для неассоциированных растворов: $\rho_{см} = \frac{1}{\sum_{k}^{n}=1\frac{x_i}{\rho_i}}$ | $T$ – текущее значение температуры; $T_{ст}$ – стандартная температура; $\beta_t$ – коэффициент объемного температурного расширения; $x_i$ – массовая доля $i$-го компонента в смеси, кг/кг; $\rho_i$ – плотность $i$-го компонента |
| Вязкость | |
| 1. Касательные силы по формуле Ньютона: $\tau = \mu \cdot \frac{dV}{dn}$. 2. Для смеси неассоциированных жидкостей: $\ell g\mu_{см} = x_1 \ell g\mu_1 + x_2 \ell g\mu_2 + \ldots$ $\ldots + x_n \ell g\mu_n$ | μ – динамический коэффициент вязкости; $V$ – скорость потока жидкости; $n$ – единица длины изменения скорости по нормали к направлению движения; $\mu_1$, $\mu_2$, … $\mu_n$ – динамические коэффициенты вязкости компонентов смеси жидкостей, Па · с; $\mu_{см}$ – динамический коэффициент вязкости смеси жидкостей, Па · с; $x_1$, $x_2$,…, $x_n$ – мольные доли компонентов смеси |

| Поверхностное натяжение | |
|---|---|
| Поверхностное натяжение определяют как энергию, которую необходимо затратить для создания единицы площади новой поверхности раздела фаз. Величина поверхностной энергии тем больше, чем больше площадь свободной поверхности. Пусть площадь свободной поверхности изменилась на $\Delta S$, при этом поверхностная энергия изменилась на $\Delta Wp = \sigma \cdot \Delta S$ $\Delta Wp = \sigma \cdot \Delta S$, где σ – коэффициент поверхностного натяжения. Так как для этого изменения необходимо совершить работу $A = \Delta Wp$, или $A = \sigma \cdot \Delta S$. Отсюда величина коэффициента поверхностного натяжения $\sigma = A\Delta S$ | В инженерной практике для системы жидкость–газ поверхностное натяжение можно считать зависящим только от природы жидкости. Для системы жидкость–жидкость поверхностное натяжение можно приближенно рассчитать как разность поверхностных натяжений этих жидкостей на границе раздела с газом. Размерностью коэффициента поверхностного натяжения в СИ является Дж/м$^2$. Равнозначной ему величиной является Н/м (1 Дж/м$^2$ = 1Н/м) |
| Теплоемкость | |
| Массовая теплоемкость смеси жидкостей пропорциональна массовой доле компонента смеси и рассчитывается по уравнению $c_{см} = c_1\overline{\chi}_1 + c_2\overline{\chi}_2 + \ldots + c_n\overline{\chi}_n$ | $c_{см}$ – массовая теплоемкость смеси жидкостей или газов, Дж /(кг · К); $c_1$, $c_2$, $c_n$ – теплоемкости компонентов смеси, Дж/(кг·К); $x_1$, $x_2$, $x_n$ – массовые доли компонентов смеси |
| Теплопроводность | |
| Коэффициент теплопроводности жидкостей пропорционален изобарной теплоемкости ($c_p$), плотности (ρ) и вязкости ($p$): $\lambda_{30} = A \cdot c_p \sqrt[3]{\frac{\rho}{\mu}}$. Зависимость теплопроводности от температуры описывается уравнением: $\lambda_t = \lambda_{30}[1 - \beta(t - 30\ °C)]$ $Pr = c \cdot \mu / \lambda$ $v = \frac{2(\rho - \rho')gr^2}{9\eta}$ | $\lambda_{30}$ – коэффициент теплопроводности при 30 °С, Вт/(м · $K$); μ – динамический коэффициент вязкости, Па · с; ρ – плотность, кг/м$^3$; β – коэффициент объемного расширения, 1/К; $t$ – температура, °С; $A$ – коэффициент, зависящий от степени ассоциации жидкости. Для ассоциированных жидкостей (вода) $A = 3{,}5840^{-3}$, для неассоциированных (бензол) $A = 4{,}2240^{-8}$ |
| Интегральный показатель | |
| Формула Прандтля обобщенно характеризует теплофизические свойства жидкостей. Рассчитывается по уравнению: $Pr = c \cdot \mu / \lambda$ | $c$ – удельная массовая теплоемкость, Дж/(кг · К); μ – динамический коэффициент вязкости, Па · с; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К) |

Примечание: Для определения показателей 1–5 используют стандартные номограммы.

В патенте № 2096759 РФ «Экспресс-анализ физической активации жидкостей» (автор – В.А. Помазкин) и [5] изложена методика экспресс-анализа эффективности физической активации немагнитных жидкостей, в основу которой положен факт изменения их вязкостно-коагуляционных свойств. Нерастворимый в данной жидкости порошок будет оседать в ней со скоростью, которая будет изменяться в соответствии с уравнением Стокса

$$\nu = \frac{2\left(\rho - \rho'\right) g r^2}{9\eta}, \qquad (3)$$

где $\rho$ и $\rho'$ – плотность жидкости и порошка соответственно, кг/м$^3$; $\eta$ – коэффициент вязкости жидкости, Па·с; $r$ – радиус частиц порошка, м; $g$ – ускорение свободного падения, м/с$^2$.

Магнитная активация приводит к усилению коагуляции и уменьшению вязкости и, как следствие, увеличению скорости оседания порошка. Способ дает возможность косвенно оценить глубину изменений в жидкости. При этом эффективность магнитной активации определяется по формуле

$$Э = \frac{t' - t_0}{t} \cdot 100\%, \qquad (4)$$

где $t'$ и $t_0$, с – время оседания порошка в активированной и неактивированной жидкости до одного и того же значения мутности (реперного значения шкалы гальванометра).

Использование предлагаемого метода косвенной оценки эффективности магнитной активации позволит оперативно оценить адекватность применяемых методов и средств и, при необходимости, произвести направленные регулировки процесса.

В [13, 14] приведены результаты исследований по изменению свойств бензина в результате его магнитной активации. При этом зафиксировано снижение расхода топлива около 10 % и снижение в выхлопных газах количества окислов углерода и азота – более 12 %.

Основной задачей обеспечения процесса магнитной активации немагнитных жидкостей, в том числе углеводородных топлив, является подбор и реализация магнитотропных параметров активатора, адекватных поставленной цели, – улучшению эксплуатацион-

ных (потребительских) свойств веществ. В соответствии с изложенной методикой этапами решения задачи являются: констатация химической формулы основной активируемой жидкости; качественный и количественный анализ допускаемых примесей по ГОСТ на жидкость; определение видов межмолекулярных и внутримолекулярных связей; расчет энергетических характеристик связей; определение основных показателей потока активируемой жидкости – удельный расход, скорость потока, ориентация относительно силовых линий МП; подбор магнитов с необходимой плотностью энергии магнитного поля; выбор конструктивной схемы магнитного активатора, характеристики которого обеспечат разрыв межмолекулярных и внутримолекулярных связей; определение способа косвенной оценки эффективности активации; проведение лабораторных и эксплуатационных испытаний активатора с корректированием его расчетных магнитотропных параметров.

В БГАТУ проводится целевая инициативная НИОКР, реализующая перечисленные этапы и направленная на повышение энергетических и экологических показателей дизельных ДВС. Повышение топливной экономичности ожидается не менее 10 %, а снижение выбросов $CO_x$ и $NO_x$ – не менее, чем на 15 %.

Планируется необходимая доработка конструкции магнитного активатора и его введение в топливные системы ДВС транспортно-технологических машин в процессе их капитального ремонта с проведением эксплуатационных испытаний и последующей передачей документации на заводы-изготовители ДВС.

Список использованных источников

1. Щурин К.В., Жданко Д.А. Магнитная активация топлива как эффективный способ повышения энергетических и экологических показателей ДВС // Агропанорама. – 2021. – №3 (145). – С. 28–33.

2. Мельников Г.А. Структурные свойства конденсированных сред в рамках кластерной модели / Ученые записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета. – 2011. – № 4 (20). – С. 1–6.

3. Щурин К.В., Панин И.Г. Изменение свойств немагнитных жидкостей в переменном магнитном поле // «Информационно-технологический вестник» – 2017. – № 1. – С. 103–114.

4. Манаков Н.А., Щурин К.В., Цветкова Е.В. Улучшение эксплуатационных показателей автомобильных двигателей в результате магнитной активации топлива // «Естественные и технические науки» – № 2. – 2012. – С. 484–486.

5. Помазкин, В. А. Неспецифические воздействия физических факторов на объекты биотехносферы: Монография.– Оренбург, ОГУ, 2001. – 340 с.

6. Егоров И.Н. Улучшение эксплуатационных свойств дизельных топлив в условиях сельскохозяйственного производства: Дис. … канд. техн. наук: Великолукский СХИ. – Великие Луки, 1983. – 292 с.

7. Василевский А.В. Способ улучшения пусковых качеств дизельных двигателей в условиях низких температур посредством ультразвуковой кавитационной обработки дизельного топлива: Автореф. дис. … канд. техн. наук: Рязанское высшее воздушно-десантное командное училище имени В.Ф. Маргелова (военный институт). – Рязань, 2012. – 18 с.

8. Лоскутова Ю. В. Влияние магнитного поля на реологические свойства нефтей: Дис. ... канд. хим. наук: 02.00.13. – Томск, 2003. – 138 с. – РГБ ОД, 61:04-2/441.

9. Пивоварова Н. А. Интенсификация процессов переработки углеводородного сырья воздействием постоянного магнитного поля: Дис. ... докт. техн. наук: 05.17.07 / Рос. гос. ун-т нефти и газа им. И.М. Губкина. – Москва, 2005. – 361 с.

10. Классен В.И. Омагничивание водных систем. – М. : Химия, 1982. – 296 с.

11. Клочков, А.В., Соломко О.Б., Емельяненко А.А. Параметры магнитного поля в устройствах омагничивания воды // «Агропанорама» – № 5. – 2020. – С. 23–28.

12. Альтман А.Б., Герберг А.Н., Гладышев П.А. [и др.] Постоянные магниты: Справочник / Под ред. Ю.М. Пятина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М., Энергия, 1980. – 488 с.

13. Щурин К. В., Цветкова Е.В. Использование магнитного активатора топлива для улучшения энергетических и экологических показателей ДВС //«Грузовик. Транспортный комплекс. Спецтехника – № 9. – 2011. – С. 27–32.

14. Ю.В. Галышев, А.Ю. Шабанов, А.Б. Зайцев, А.А. Метелев. Влияние электромагнитного воздействия на показатели топлива и

характеристики автомобильных двигателей внутреннего сгорания // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – №2(171). – 2013. – С. 61–67.

УДК 631.348.45

**Крук И.С.,** кандидат технических наук**,** доцент;
**Анищенко А.А.,** аспирант
*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

# ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВНЕСЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

***Аннотация.*** *Обоснованы направления дальнейшего совершенствования технологий внесения рабочих растворов пестицидов в растениеводстве.*

**Введение.** Рост объемов использования средств химизации при несовершенстве технологий и технических средств, несоблюдении агротехнических и технологических требований приводит к избыточному накоплению их в почве, что влечет за собой загрязнение не только сельскохозяйственной продукции, но и повышенной нагрузке на экологию окружающей среды. В настоящее время продолжается процесс непрерывного совершенствования технологий защиты растений от вредителей, болезней и сорняков. Разработка новых принципов защиты растений, соответствующих машин, устройств и узлов направлена на повышение производительности, качества и эффективности обработки, расширение технологических возможностей машин, надежности работы и других показателей. Можно выделить следующие направления, связанные с совершенствованием применяемых технологий и машин; распыливающих рабочих органов; штанг и распределительных систем; устройств защиты факела от воздействия ветра, автоматизации процесса, совершенствованием других дополнительных устройств.

**Основная часть.** В настоящее время наибольшее распространение получила технология внесения рабочего раствора пестицидов,

основанная на методе сплошного опрыскивания. Реализующие ее технические средства отличаются высокой производительностью, низкими энергетическими затратами.

Для внесения средств химизации в растениеводстве используются авиационное и наземное опрыскивание. При этом на смену ранее используемым самолетам Як-12, Ан-2, Ан-2М, «Авиатика» и вертолетам Ми-1, Ми-2, Ка-15, Ка-26, приходят сверхлегкие и беспилотные летательные мотодельтапланы, мотодельталеты аппараты, дроны и другие. Их применение позволяет проводить обработки в ночное время при наиболее низкой суточной температуре и отсутствии ветра и восходящих от земли потоков воздуха. Данные системы позволяют проводить картографирование полей, состояние посевов и осуществлять локальное внесение средств защиты растений по результатам их анализа. Авиационная опрыскивающая техника нового класса позволяет обрабатывать посевы с высоты 1,5…3,0 м. К недостаткам данных систем можно отнести низкую несущую способность, ограничивающую объем основной емкости, необходимость использования ультрамалообъемного опрыскивания и повышенные требования к качеству выполнения технологической операции.

Мнения ученых и производственников по вопросу эффективности и безопасности применения средств защиты растений методом авиационного УМО противоречивы. Одни авторы полностью отрицают возможность применения этого метода, другие исследователи утверждают, что при соблюдении технологических регламентов применения авиации в сельском хозяйстве и санитарно-экологических нормативов при применении пестицидов эффективное использование этого метода при защите растений возможно и безопасно [1].

Для наземного внесения пестицидов в растениеводстве широко используются штанговые опрыскиватели. Им присущи большой объем основной емкости, ширина захвата, которые обеспечивают высокую производительность агрегатов. Однако увеличение объема емкости и массы машины приводит к повышенному воздействию ходовых систем на почву. Решением проблемы рационального использования опрыскивателей является эффективное использование рабочих растворов, позволяющее при условии высокого качества покрытия обрабатываемых поверхностей каплями пестицида

снизить удельный их расход до 80–150 л/га. Неравномерность распределения рабочей жидкости вдоль штанги опрыскивателя характеризуется коэффициентом вариации. На каждый процент неравномерности распределения рабочей жидкости приходится 0,4 % (по объему) его непроизводительного использования, то есть если опрыскиватель распределяет рабочую жидкость с коэффициентом вариации 20 %, то около 8 % раствора пестицида теряется [1–3]. Если избежать указанных потерь, можно значительно снизить дозировку пестицида на единицу площади. На рисунке 1 представлена зависимость эффективности применения пестицидов от неравномерности их внесения, полученная на результатах исследований ученых Шведского университета сельскохозяйственных наук (г. Упсала) [1–3].

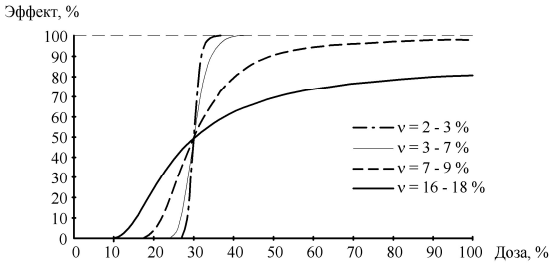
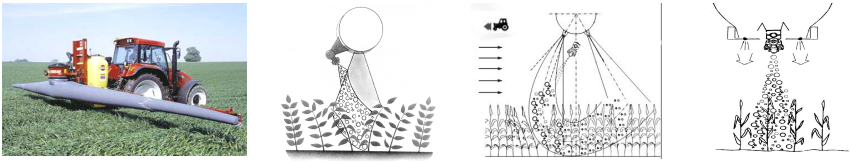



Рисунок 1 – Графические зависимости эффективности применения пестицидов при различной неравномерности их распределения

Приведенные данные позволяют рассматривать неравномерность распределения как один из важнейших показателей качества опрыскивания. В результате проведенных исследований отмечено, что внесение 60–135 л/га рабочей жидкости штанговыми опрыскивателями против 400–600 л/га позволяет на 50–100 % повысить производительность агрегатов и в 3–5 раз уменьшить затраты на доставку жидкости [4]. При этом агрегаты должны обеспечивать высокую равномерность при отсутствии (или минимальных) потерях из-за сноса капель ветром.

Снижение потерь вследствие сноса при обработках в ветреную погоду, а также проводить обработки при скорости ветра до 7 м/с позволяет опрыскивание с осаждением капель направленным воздушным потоком (рисунок 2, а). [2]. Имеется два конструктивных исполнения опрыскивателей с распределяющими устройствами

воздушного потока: при первом капли рабочего раствора вносятся в направленную воздушную струю (рисунок 2, б, в), при втором – воздушные струи находятся симметрично относительно факела распыла и не воздействуют на капли (рисунок 2, г) [1].



а) б) в) г)

Рисунок 2 – Устройство опрыскивателя с принудительным осаждением капель: а – общий вид, б, в – схема принудительного осаждения капель воздушной струей, г – воздухоструйные защитные экраны

В первом случае вертикально направленный воздушный поток наклоняет стебли, доходит до поверхности почвы и частично отражается, в это время происходит подача капель препарата, часть которых оседает на верхней части листьев. Распыленные капли, не достигнув поверхности почвы, поднимаются отраженным потоком вверх и оседают на нижней стороне листьев, на стеблях и нижней части растений. В опрыскивателях фирмы RAU наиболее эффективное осаждение распыленных капель на растения достигается при скорости воздуха на выходе из пневмопровода около 30 м/с и объеме подаваемого воздуха 1600–2500 м$^3$/ч на метр рабочей ширины штанги. При этом создается возможность работать в ветреную погоду, так как скорость создаваемого воздушного потока в припочвенном слое составляет около 9 м/с. В опрыскивателях системы Hardi скорость воздуха на выходе из коллектора составляет около 25 м/с, а в припочвенном слое – около 5 м/с. В опрыскивателе ОПО-18 (ОАО «Мекосан») объем подаваемого воздуха составляет 2222 м$^3$/ч на метр рабочей ширины захвата штанги.

Однако в результате проведенных полевых экспериментов было установлено, что при использовании в сухую погоду опрыскивателей объемного действия, направленный воздушный поток подхватывает с поверхности почвы пыль, создавая пылевую завесу, с которой смешиваются капли рабочего раствора [5]. При этом создаются комочки грязи, которые оседают на растения или почву. Кроме того, поднимающаяся пыль покрывает тонким слоем обрабаты-

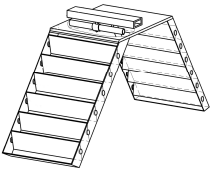
ваемые поверхности растений, что снижает эффективность препаратов. Отраженный от поверхности поля воздушный поток выносит вверх не осевшие на обрабатываемых поверхностях растений мелкие капли, которые затем витают в воздухе и сносятся. Для снижения потерь от выноса мелких капель используется дополнительный направленный поток, который перенаправляет отраженный поток в направлении растений (рисунок 2, в) [2], что позволяет сократить вынос препарата и повысить качество внесения средств химизации.

Во втором случае направленный воздушный поток, выходящий из щелей воздушного рукава, расположенных симметрично в направлении движения относительно факела распыла, создает «воздушные экраны» (рисунок 2, г), движущиеся вниз со скоростью, превышающей скорость бокового потока ветра в приземном слое, что позволяет снизить или исключить воздействие ветра на факел распыла [6]. При этом воздушный поток, выходящий из щелей за распылителями, перенаправляет восходящие от поверхности почвы воздушные потоки и транспортирует витающие в воздухе капли в направлении обрабатываемого объекта.

Пассивные ветрозащитные устройства в виде экранов и щитков эффективны при использовании опорных элементов для поддержания штанги (рисунок 3, а), при небольшой ширине захвата штанги (рисунок 3, б) или при ленточном внесении гербицидов. Применение их на навесных штангах приводит к увеличению массы несущей конструкции, а также дополнительной нагрузке на нее вследствие увеличения аэродинамического сопротивления, что может вызвать колебания в горизонтальной плоскости в направлении движения агрегата.

а)

б)



в)

Рисунок 3 – Ветрозащитные устройства пассивного (а, б) и комбинированного (в) действия

Возможность использования ветрозащитных устройств комбинированного действия (рисунок 3, в) [1] также ограничивается несущей конструкцией штанги. Поэтому они находят применение при ленточном внесении гербицидов.

**Заключение.** Наиболее перспективными направлениями исследований в области внесения пестицидов в растениеводстве являются технологии, основанные на использовании беспилотных летательных аппаратов, технических средств, позволяющих качественно выполнить технологический процесс с наименьшими потерями и нормой внесения в сложных климатических условиях, и использовать элементы «точного земледелия».

Список используемых источников

1. Крук, И.С. Способы и технические средства защиты факела распыла от прямого воздействия ветра в конструкциях полевых опрыскивателей: монография / И.С. Крук, Т.П. Кот, О.В. Гордеенко. – Минск : БГАТУ, 2015. – 284 с.

2. Направления повышения качества внесения пестицидов в ветреную погоду / И.С. Крук [и др.] // Вести Нац. акад. наук Беларуси. Серия аграрн. наук. – 2022. – № 3. – Том 60. – С. 320–331.

3. Клочков, А.В., Маркевич, А.Е. Механизация химической защиты растений: монография. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2008. – 228 с.

4. Прокопенко, С.Ф. Малообъемное опрыскивание сельскохозяйственных культур / С.Ф. Прокопенко, В.В. Ченцов. – М.: Агропромиздат, 1989. – 62 с.

5. Lechler. Теория и практика опрыскивания / И.А. Редкозубов [и др.]. – Lechler, 2010. – 19 с.

6. Вожик Ю.Г. Використання повітряної завіси для протидіїзустрічному вітру під час обприскування польових культур / Ю.Г. Вожик, П.І. Вітрух, Ю.В. Косовець, В.І. Панасюк / Механізація та електрифікація сільскогогосподарства. – 2020. – Випуск 11(110). – С. 72–81.

**Abstract:** the directions of further improvement of pesticide working solution application technologies in crop production are substantiated.

УДК 617.3:615.477

**Еднач В.Н.,** кандидат технических наук, доцент;
**Романюк Н.Н.,** кандидат технических наук, доцент;
**Пырх А.С.; Еднач А.В.**
*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

# К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКЗОСКИЛЕТОВ В АПК

***Аннотация.*** *В статье рассматриваются вопросы классификации, разработки и применения экзоскилетов в сельскохозяйственном производстве, что позволит снизить нагрузку на работников АПК и увеличить производительность труда.*

## Введение

Современное сельское хозяйство требует применения новейших технологий, которые способны существенно увеличить механизацию труда, а главное замену труда рабочих в погрузочно-разгрузочных работах. Те решения которые в недавнем прошлом казались фантастикой, сейчас находят применение в производстве. К ним можно отнести экзоскилеты и устройства повторяющие биомеханику человека для снятия части нагрузок и пропорционального увеличения усилий.

Целью исследований является обзор и анализ исследований конструкций экзоскилетов, применяемых в АПК для повышения производительности труда.

## Основная часть

В настоящее время экзоскелеты используют не только в сфере промышленного производства, но и в сельском хозяйстве. Применение данных устройств в сельскохозяйственном производстве республики позволит значительно снизить мышечную активность работников, а также утомляемость, травмируемость и повысит производительность труда.

В результате исследований, проведенных канадскими и швейцарскими учеными было установлено, что использование экзоскелета позволяет снизить мышечную нагрузку на спину во время сельскохозяйственных работ до 65 %, 56 % и 48 % при статиче-

ской, средней и максимальной мышечной активности соответственно [1]. Это указывает на потенциальные преимущества использования экзоскелета, чтобы помочь работникам, занятым в АПК снизить мышечную нагрузку. Кроме того, использование экзоскелета увеличивает мышечную активность на работах, связанных с повторяющимися движениями.

Анализируя конструкции экзоскилетов, которые возможно применить в условиях сельскохозяйственного производства Республики Беларусь, рассмотрим существующие классификации. Классификация экзоскилетов по признакам: тип исполнительного механизма, наличие привода усиления сочленений, анатомическое расположение усиленных сочленений, наличие встроенного источника энергии, вид используемого силового привода, способ получения управляющего сигнала, тип силовой установки и источника энергии, область практического применения [2].

Известна классификация, предложенная профессором Воробьевым А.А. [3], в основу которой положены следующие принципы: источник энергии и принцип работы привода; точка приложения (локализации); стоимость; область применения; вес конструкции; количество функций; мобильность.

Представленные классификации дают общее представление о потенциалах использования экзоскилетов в сельскохозяйственном производстве. Рассмотрим более подробно некоторые модели экзоскилетов.

Компания «Exorise» работает над использованием в конструкции экзоскилета эластомеров, принцип действия которых основан на свойствах эластомеров и рессор накапливать и отдавать энергию. Разработанной экзоскелет пассивного типа и не требует дополнительных источников энергии. Эффект достигается благодаря перераспределению мышечных усилий по телу оператора при наклонах и поворотах с грузом и без него. Конструкция значительно снижает компрессионное воздействие на позвоночник оператора во время выполнения погрузочно-разгрузочных работ. Исследования, проведенные Exorise показали то, что промышленный экзоскелет X-Soft снижает нагрузку на спину оператора от 12 до 37 % [4].

Активный промышленный экзоскелет, разработанный по заказу ПАО ГМК Норильский Никель на его предприятиях «ExoHeaver Active Electric» – широко используемый при подъеме и удержании

грузов и инструментов, поддержания тела при необходимости длительного нахожденмия в наклонном положении или с согнутыми ногами. Экзоскелет оснащается гравитационными компенсаторами или электроприводами, принимающими на себя до 90 % нагрузки [5]. Компанией ExoHeaver также разработан и пасивный экзоскелет 3 Hander, отличительной особенностью конструкции которго является наличие механического модуля, используемого для крепления и удержания инструмента. Принцип действия экзоскелета основан на компенсации изгибающих моментов в суставах и передаче нагрузки с оператора на механический силовой каркас. В ходе выполнения технологических операций, нагрузка распределяется по силовому каркасу, что обеспечивает защиту поясничного отдела позвоночника от чрезмерного скручивания и смещения дисков. Конструкцией также предусмотрены специальные упоры, действующие подобно сиденью и снимающие нагрузку с ног оператора.

Японская фирма Innophys совместно с Токийским научным университетом, спроектировала пассивный экзоскилет имеющий ряд модификаций, который позволяет увеличить подъемную силу оператора на 5,5 кг, при этом продолжительность удерживания груза до 30 кг [6]. К конструктивным особенностям экзоскилета можно отнести шарнирное соединение верхней и нижней рам, позволяющих выполнять поворот вперед и назад (рисунок 1). Рамы соединены системой эластичных элементов и шкивов позволяющих перераспределять усилия и снижать нагрузку на суставы и позвоночник оператора. Innophys производит как пассивные (рисунок 1, а), так и активные экзоскилеты (рисунок 1, б). Рабочим элементом активного экзоскилета является пневматическая система, имеющая эластичные элементы «McKibben» (рисунок 1, в), которые представляют собой резиновую трубку, покрытую нейлоновой сеткой, зафиксированной от перемещения по трубке зажимами с обоих концов. Трубка в сетке работает по принципу изменения длины при изменении поперечного сечения в результате накачивании воздуха (рисунок 1, в). При работе изменение длины трубки может достигать 30 % и создавать усилие растяжения до 200 кг при давлении воздуха 5 атмосфер [6].

а б в

Рисунок 1 – Экзоскилет компании Innophys

**Выводы**

Проведенное теоретическое исследование использования пассивных экзоскелетов, применяемых в АПК, указывает на потенциальные преимущества их использования, позволяющие повысить производительность труда, снизить утомляемость работников, а также же необходимость разработки подобных механизмов для применения на отечественных предприятиях.

Список использованных источников

1. Thamsuwan O, Milosavljevic S, Srinivasan D, Trask C. Potential exoskeleton uses for reducing low back muscular activity during farm tasks. Am J Ind Med. 2020 Nov;63(11):1017–1028. doi: 10.1002/ajim.23180. Epub 2020 Sep 14. PMID: 32926450.

2. Верейкин А.А., Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, кафедра "Гидромеханика, гидромашины и гидропневмоавтоматика" http://www.str-t.ru/reports/18/ Дата доступа 28.09.2022, 16:17.

3. Воробьев А.А., Терминология и классификация экзоскелетов. А.А. Воробьев, Ф.А. Андрющенко, О.А. Засыпкина, И.О. Соловьева, П.С. Кривоножкина, А.М. Поздняков // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – 2015. – №3 (55). – С. 71–78.

4. Экзоскелет X-Soft. https://exorise.com/en/products-and-services/x-soft/ Дата доступа 28.09.2022, 18:20.

5. Российские экзоскелеты ExoHeaver. https://top3dshop.ru/blog/Russian-exoskeletons-exoheaver-review.html Дата доступа 28.09.2022, 17:02.

6. INNOPHYS CO.,LTD. All Rights Reserved https://innophys.jp/en/product. Дата доступа 28.09.2022, 20:14.

**Abstract.** The article discusses the classification, development and application of exoskeletons in agricultural production, which will reduce the burden on workers and increase labor productivity.

УДК 337.32:54

**Мисун А.Л.; Данцевич И.И.; Ильиных Н.А.**
*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

## К ВОПРОСУ БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ «ЧЕЛОВЕК-МАШИНА» НА УБОРКЕ КОРМОВЫХ КУЛЬТУР

***Аннотация.*** *В статье рассмотрены направления по повышению безопасности труда системы «человек-машина».*

Как любые факторы производственной обстановки, так и любые целесообразные действия персонала в трудовом процессе становятся опасными для работника только в определенной взаимосвязи в рамках опасной производственной ситуации. Функционирование уборочно-транспортного процесса кормоуборки с позиции теории вероятностей можно рассматривать как последовательность наступающих поочередно одно за другим в случайные моменты времени таких событий (технологических операций) как скашивание растительной массы, ее измельчение с одновременной погрузкой в транспортное средство и отвозкой массы к месту хранения, то есть как поток событий и отказов, возникаемых в процессе выполнения технологических операций в течении рабочего дня по причинам «оператора», «комбайна», производственной «среды», «транспорта».

Рассматривая этот поток событий как «простейший», необходимо отметить следующее. Свойство стационарности для этого потока событий с определенной долей приближения можно

считать приемлемым. Плотность потока отказов принимается постоянной. Также при возникновении «отказа» и как следствие остановки комбайна, например, по причине технологического отказа, мы можем констатировать, что появление этого события не зависит от того какие отказы возникали раньше или возникнут в будущем, а также от их количества. К этому следует добавить, что представляя уборочно-транспортный процесс кормоуборки как функционирование технологической системы «оператор-комбайн-производственная среда-транспорт», состояния которой изменяются под воздействием простейшего потока событий, можно считать, что мы имеем дело с «марковским процессом»: соблюдется одно из основных требований, характерных для такого процесса – для любого момента времени $t_0$ вероятности всех состояний системы в будущем ($t>t_0$) зависят только от состояния системы в настоящем ($t=t_0$) и не зависят от ее поведения до этого момента ($t<t_0$) (отсутствие последствия). Практически это свойство означает, что дальнейшее состояние процесса не зависит от его состояния в прошлом, потому что события, под влиянием которых система меняет свои состояния, появляются в случайные моменты времени независимо друг от друга.

Следует также подчеркнуть, что марковские процессы, протекающие в системе с дискретными состояниями и непрерывным временем характеризуются вероятностями состояний $P_i(t)$ в любой момент времени $t$. Для наглядной иллюстрации таких процессов используют теорию графов, согласно которой обозначается состояние системы и возможные переходы из одного состояния в другое. Также следует отметить, что наиболее важной операцией уборочно-транспортного процесса уборки кормовых культур является непосредственное комбайнирование. Транспортная же операция служит вспомогательной. Однако без нее основная технологическая операция становится невозможной: при «отказе» компоненты «транспорт» система переходит в неработоспособное состояние.

Анализ безопасности функционирования системы «человек-машина» позволил выделить три основные функции оператора мобильной сельско-хозяйственной техники. Это обработка информации, принятие решения и управление (действия). Такой подход позволяет оператору предупреждать возникновение

аварийной ситуации, правильно выделять из множества различных отклонений наиболее существенные, безопасно и с наименьшими затратами времени выполнять управленческие воздействия на изменения в технологическом процессе. Следует также отметить, что залогом успешной работы оператора МСХТ [1] служит доскональное знание технологического процесса, требований производственной эксплуатации технического средства и техники безопасности, то есть все то, что характеризует профессиональную подготовку. Анализ ранее проведенных исследований показал, что зависимость для определения уровня профессиональной подготовки оператора МСХТ ($У_{п.п.}$) должна обладать следующими характеристиками: число параметров минимально, точность – достаточная, формула – удобная для пользования. В результате была принята зависимость мультипликативного вида:

$$У_{п.п.}\left(P_v, \tau\right) = a \cdot e^{b \cdot \tau} \cdot P_v^{\,c}, \qquad (1)$$

где $P_v$ – уровень способностей оператора МСХТ выполнять управленческие воздействия на изменения в технологическом процессе.

$\tau$ – показатель оперативности выполнения управленческих воздействий (рассчитывается как отношение фактического времени на устранение воздействий (отказа техники) ко времени установленному согласно укрупненным нормативам времени на ремонт сельскохозяйственной техники);

*a, b, c* – параметры зависимости.

Обосновать пределы изменения факторов $v$ и $\tau$, определить значения параметров (*а*, *в*, *с*), получить зависимость для оценки профессиональной подготовки оператора кормоуборочного комбайна к безопасному управлению технологическим процессом кормоуборки. Так, значение $v$ определялось согласно теста механической понятливости оператора (теста Беннета), ориентированного на выявление технических способностей испытуемых [2]. Установлен следующий диапазон варьирования этого фактора: $v$ изменялся от 0,42 (низкий уровень развития общетехнических способностей) до 1,0 (очень высокий). Значения фактора $\tau$ – доли эффективного времени затрачиваемого

оператором на управленческое воздействие и определяемого как отношение фактического времени, затрачиваемого оператором на управленческие воздействия, к нормативному времени, необходимому для обеспечения безопасного управления кормоуборочным комбайном, изменялось в диапазоне 1,0 до 1,5. Значения параметров *a*, *b*, *c* (формула 1) определяли с учетом принятых ограничений: ($У_{п.п.}$ = 1,0, $P_v$ = 1,0, $\tau$ = 1,0; $У_{п.п.}$ = 0,7, $P_v$ = 0,5, $\tau$ = 1,0; $У_{п.п.}$ = 0,35, $P_v$ = 0,42, $\tau$ = 1,5). Проделав соответствующие вычисления, нами получено зависимость для определения профессиональной подготовки оператора МСХТ оперативно выполнять управленческие воздействия на изменения в технологическом процессе ($У_{п.п.}$):

$$У_{п.п.} = 3,344 \cdot e^{-1,206 \cdot \tau} \cdot P_v^{0,515}. \quad (2)$$

Результаты проведенных исследований позволяют констатировать следующее:

– уровень безопасности труда на мобильной сельскохозяйственной технике различной конструкции, но одного назначения, можно сравнить, используя коэффициент удельной травмоопасности определяемый отношением числа опасных ситуаций на единицу выполненной за смену работы.

– безопасность труда оператора мобильной сельскохозяйственной техники (МСХТ) при выполнении им производственного задания рациональнее оценивать по вероятности отсутствия опасной ситуации в любой выбранный момент рабочего времени, то есть по вероятности безопасной работы.

При этом следует отметить, что оценка травмобезопасности осуществляемая в ходе аттестации рабочих мест по условиям труда имеет ряд недостатков: отсутствует оценка эффективности средств обеспечения безопасности и риска травмирования, производимая оценка является качественной (формальной), что затрудняет в последующем ранжирование результатов оценки.

Список использованных источников

1. Аверьянов, Ю.И. Повышение безопасности человека-оператора при управлении мобильными сельскохозяйственными

машинами / Ю.И. Аверьянов, К.В. Глемба, С.Ю. Попов // Вестник Челяб. гос. аграрного ун-та. – 2002. – Т. 37. – С. 101–104.

2. Мисун, Л.В. Профессиональная успешность и безопасность операторов мобильной сельскохозяйственной техники: психофизиологический отбор и прогнозирование / Л.В. Мисун, А.Н. Гурина. – Минск: БГАТУ, 2013. – 184 с.

УДК 337.32:54

**Мисун А.Л.**; **Данцевич И.И.**; **Ильиных Н.А.**
*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

# ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ РАБОТ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

***Аннотация.*** *В статье рассмотрены направления улучшения условий и повышения безопасности труда оператора при управлении транспортным средством сельскохозяйственного назначения.*

В условиях сельскохозяйственного производства такие работы как перевозка убранной с полей растительной массы, а также сыпучих материалов, строительных грузов и др. выполняются транспортными средствами сельскохозяйственного назначения (ТССХН). Преимущество такой техники (автомобилей МАЗ-4570, ЗИЛ-ММЗ-554, ГАЗ-3307, ГАЗ-3309, ГАЗ-С41R33 и др.) заключается в ее высокой маневренности и производительности. Следует однако отметить, что увеличение их выпуска и улучшение эксплуатационных свойств приводят к повышению скорости и интенсивности движения, плотности транспортных потоков, увеличению числа водителей вообще и имеющих малый опыт вождения ТССХН в том числе. Определенное влияние на безопасность движения оказывают все еще недостаточные темпы развития опорной сети магистральных автомобильных дорог. В результате этого усложняются условия дорожного движения, повышается аварий-

ность, возрастает число столкновений транспортных средств и наездов, увеличиваются загрязненность воздуха и уровень шума. Таким образом, возникает возможность увеличения человеческих и материальных потерь, связанных с авариями.

Большое значение для обеспечения безопасности дорожного движения имеет конструкция ТССХН. Условия эксплуатации ТССХН настолько сложны и разнообразны, что нельзя установить предел совершенства конструкции, которую можно было бы признать эталоном по всем параметрам. Особенно это справедливо по отношению к безопасности ТССХН, которое представляет собой потенциальный источник повышенной опасности для людей. Эта опасность чрезвычайно возросла в последние десятилетия, когда вследствие роста мощности двигателей и скоростей движения транспортных средств безопасность движения превратилась в социальную проблему.

Комплексный подход к изучению безопасности дорожного движения не исключает, а, напротив, предполагает детальное изучение и совершенствование каждого элемента в отдельности [1]. Неудовлетворительное функционирование хотя бы одного из элементов системы, отсутствие четкой связи между ними, несоответствие их одного другому, даже частичное приводит к утрате работоспособности (отказу) всей системы в целом. Отказ системы «транспортное средство–оператор транспортного средства–дорога» проявляется в снижении интенсивности движения вплоть до полного его прекращения и возникновении дорожно-транспортных происшествий (ДТП).

В исходном состоянии, когда оператор транспортного средства не спит и держит голову прямо, в датчике угла наклона металлический шар находится в сферическом углублении на нижней грани корпуса. Первая и вторая контактные пластины не замкнуты, электрическая цепь технического устройства разомкнута, несмотря на включенный источник питания. При засыпании оператора транспортного средства за рулем его голова склоняется вперед или в сторону. При этом в датчике угла наклона металлический шар выкатывается из сферического углубления и накатывается на нижний конец второй контактной пластины, прижимая ее к первой контактной пластине, и тем самым замыкает электрическую цепь технического устройства. Включается генератор звукового сигнала и будит оператора транспортного средства. Вследствие наличия реле времени, звуковой сигнал включается только при достаточно длительном замыкании

электрической цепи. При замыкании электрической цепи на более короткое время, вследствие вибрационного воздействия на транспортное средство и сиденье оператора от дорожного полотна, звуковой сигнал не включается, тем самым не отвлекается внимание оператора транспортного средства. Чувствительность предлагаемого технического устройства зависит от величины сферического углубления на нижней грани датчика угла наклона, массы металлического шара, величины зазора между контактными пластинами, упругости второй контактной пластины и исходного положения датчика угла наклона, которое устанавливается рукояткой индивидуально. Также оператор транспортного средства может регулировать время задержки реле времени.

Техническое решение для предупреждения от засыпания за рулем оператора транспортного средства [2] представлено на рисунке. Датчик угла наклона головы оператора ТССХН, содержащий корпус с рукояткой. В корпусе в сферическом углублении на нижней грани находится металлический шар. К этой же грани корпуса прикреплена первая контактная пластина, расположенная вокруг сферического углубления. Площадь этой контактной пластины ограничена только размерами датчика угла наклона. К верхней грани корпуса прикреплена вторая контактная пластина, выполненная U-образной формы из упругого металла. Нижний конец которой выполнен в виде двухзубцовой вилки, охватывающей металлический шар. Плоскость двухзубцовой вилки параллельна первой контактной пластине и расположена над ней с зазором. Плоскости зубцов двухзубцовой вилки второй контактной пластины развернуты на некоторый угол в сторону металлического шара, а их концы отогнуты. Для включения датчика угла наклона в электрическую цепь контактные пластины соединены с клемами. К верхней грани корпуса датчика угла наклона прикреплен ограничитель, предотвращающий скатывание металлического шара в изогнутую часть контактной пластины.

Предлагаемое техническое решение для повышения производственной безопасности транспортных работ в сельскохозяйственном производстве относится к устройствам сигнализации и предназначено для предупреждения от засыпания за рулем оператора транспортного средства сельскохозяйственного назначения во время движения.

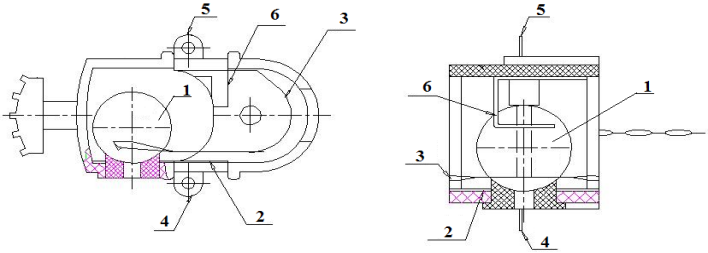



Рисунок – Датчик угла наклона головы оператора транспортного средства
1 – металлический шар; 2 – первая контактная пластина;
3 – вторая контактная пластина; 4, 5 – клеммы; 6 – ограничитель

Список использованных источников

1. Мероприятия по обеспечению безопасности дорожного движения при управлении транспортным средством сельскохозяйственного назначения / И.Н. Мисун, А.Г. Кузнецов, А.П. Миронь, В.Л. Мисун // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: сборник статей IV Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 21–22 марта 2019г./ редкол.: В.Я. Груданов [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2019. – С. 312–314.

2. Устройство для предупреждения от засыпания за рулем оператора тран-спортного средства сельскохозяйственного назначения: пат. № 12302 Республики Беларусь на полезную модель / А.Л. Мисун, О.Г. Агейчик, Л.В. Мисун, А.Г. Кузнецов, В.А. Агейчик, А.П. Миронь, И.М. Морозова; заявл. 12.11.2019; опубл. 30.06.2020.

УДК 629.3.014.2

**Ляхов А.П.**, кандидат технических наук, доцент;
**Станкевич А.Ф.**, старший преподаватель
*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

# К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАСАТЕЛЬНОЙ СИЛЫ ТЯГИ И БУКСОВАНИЯ ДВИЖИТЕЛЯ ТРАКТОРА

***Аннотация.*** *Несмотря на проведенные теоретические и экспериментальные исследования [1-6] до сих пор не получены удовле-*

*творительные аналитические зависимости, с достаточной точностью описывающие процесс взаимодействия движителя с грунтом, образования силы тяги и особенно буксования движителя.*

## Основной текст

Трактор, как тяговая машина, характеризуется комплексом показателей его тягово-сцепных свойств, таких как коэффициент сцепления $\varphi$, сопротивления качению $f$, буксования ведущих колес $\delta$.

Значения указанных показателей зависят от типа движителя (колесный, гусеничный) его параметров, физико-механических свойств почвы с которой он взаимодействует при движении.

Существуют две точки зрения на механизм образования силы тяги за счёт сцепления движителя с грунтом:

— сцепление обеспечивается как за счет сил трения между опорной поверхностью движителя и грунтом, так и реакций при прессовании грунта упорными поверхностями грунтозацепов.

— сцепление происходит от сопротивления грунта сдвигу и сил трения почвенных кирпичей и грунтом при их относительном смещении.

Таким образом максимальная касательная сила тяги движителя определяется исходя из двух следующих допущений:

1. Максимальная сила тяги трактора создается за счет сопротивления сдвигу, почвенных кирпичей, зажатых между почвозацепами движителя и сил трения, действующих по вершинам и боковым поверхностям почвозацепов.

2. Сцепной вес трактора равномерно распределен по опорной поверхности контакта движителя с грунтом.

Известно [1, 2, 6], что максимальные касательные напряжения сдвига в грунте определяется по уравнению Кулона-Мора:

$$\tau=c+qtg\varphi \qquad (1)$$

где $c$, $\varphi$ – коэффициенты, которые характеризуют свойства грунта и определяются по экспериментальным зависимостям $\tau=f(q)$.

Коэффициент $c$ определяет сцепные связи частиц грунта, $\varphi$ – внутреннее трение между частицами.

Экспериментальные зависимости уравнения (1) имеют следующий вид:

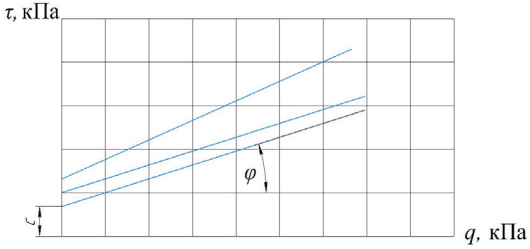



Рисунок 1 – Зависимости напряжений сдвига от давления по уравнению Кулона-Мора

Для определения максимальной касательной силы тяги необходимо левую и правую часть уравнения (1) умножить на площадь контакта (сдвига) и добавить силу трения, возникающую по поверхности почвозацепов движителя с грунтом. Кроме того, необходимо определить нормальные напряжения $q$, действующие по этим площадкам. Для этого при расчетах используются результаты экспериментальных зависимостей сдвига штампов либо отдельных элементов движителя которые по конструкции и материалу соответствующие реальным, а условия испытаний критерия подобия.

На рисунках 2, 3, 4 представлены экспериментальные данные полученные при сдвиге штампов на торфяно-болотных грунтах различного состояния [4].

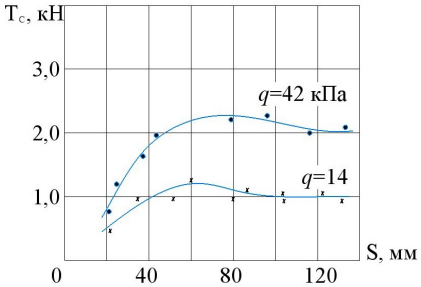



Рисунок 2 – Зависимость изменения сопротивления сдвигу $T_c$ от смещения штампа S

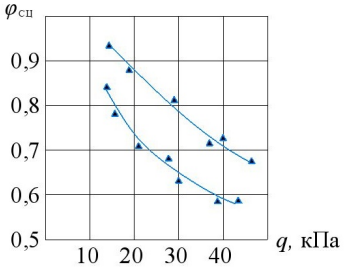



Рисунок 3 – Зависимость коэффициента сцепления $\varphi_{сц}$ от нормального давления $q$

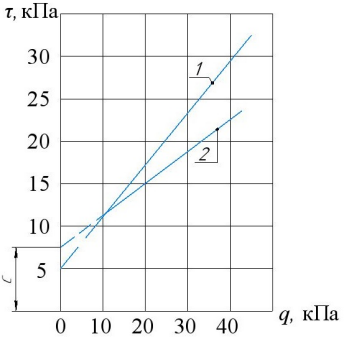



Рисунок 4 – Зависимость почвенных напряжений $\tau$ сдвига от нормального давления $q$.
1 – торфяно-болотный грунт $W$ = 77 %, твердость 350 кПа;
2 – торфяно-болотный грунт $W$ = 85 %, твердость 160 кПа; $c$ = 7 кПА; $\varphi$ = 30º

Суммарная площадь контакта движителя с почвой равна:

– площадь сдвига, приходящаяся на почвенные кирпичи между грунтозацепами движителя

$$S_0 = 2(BL - ibl) \tag{2}$$

где $B$, $L$ – соответственно ширина и длина площади контакта;

$i$ – количество почвозацепов;

$b$ – ширина вершины почвозацепа;

$l$ – длина почвозацепа.

Боковая площадь сдвига почвенных кирпичей:

$$S_1 = 4(hL - iS_b) \tag{3}$$

где $h$ – высота почвозацепа;

$S_b$ – боковая площадь почвозацепа.

С учетом выражений (1, 2, 3) и удельных давлений по вершинам и боковым к поверхностям почвозацепов, а также силы трения определяем максимальную касательную силу тяги движителя.

$$P_{\kappa_{\max}} = C\left(S_0 + S_1\right) + G\left(1 - i\frac{l}{L}\right)tg\varphi + P_1 \cdot tg\varphi + f_{\text{т}} G \cdot i \cdot \frac{l}{L} \qquad (4)$$

где $f_{\text{т}}$ – коэффициент трения материала движителя о грунт;

$G$ – эксплуатационный вес трактора;

$P_1$ – боковая распределения сила, действующая по высоте почвенного кирпича на единицу его длины.

$$P_1 = 4N_y\left(L - i\frac{S_\varphi}{h}\right) \qquad (5)$$

где $h$ – высота почвозацепа;

$N_y$ – распределённая сила действующая по высоте почвенного кирпича на единицу его длины.

Значение силы $N_y$ можно определить по формуле М.Г. Беккера [1].

$$N_y = \frac{G}{2\pi lL} harctg\frac{h}{b} \qquad (6)$$

С учетом (6) значение $P_1$ равно

$$P_1 = 0,64G\left(1 - \frac{iS_\delta}{Lh}\right)\frac{h}{b} harctg\frac{h}{b} \qquad (7)$$

После подстановок (2, 3, 7) в (4) окончательно получим

$$\begin{aligned} P_{\kappa_{мах}} &= 2bc\left[L\left(1 + 2\frac{h}{b}\right) - 1,3il\right] + \\ &+ G\left[\left(1 - i\frac{h}{b}\right) + 0,64\left(1 - \frac{iS_\delta}{Lh}\right)\frac{h}{b} arctg\frac{h}{b}\right]tg\varphi + f_{\text{т}} iG\frac{l}{L} \end{aligned} \qquad (8)$$

Если принять идентичный характер протекания зависимости $\tau = f(S)$ (рисунок 2) при моделировании сдвига у реального движителя, то её кривую можно представить, как кривую буксования для данного типа почвы. Для этого ее представляем в безразмерных параметрах:

$$P = \frac{\tau}{\tau_{\max}} \tag{9}$$

где $\tau$, $\tau_{max}$ – текущее и максимальное сдвигающее напряжениепри сдвиге.

Буксование:

$$\delta = \frac{\Delta S}{L} \tag{10}$$

$\Delta S$ – величина сдвига пятна контакта.

Зависимость (9) можно представить идентичным выражением:

$$P = \frac{P_{\text{т}}}{P_{\text{к}_{\max}}} \tag{11}$$

$P_{\text{т}}$ – тяговое усилие трактор;

$P_{\text{к}_{\max}}$ – максимальная касательная сила тяги трактора.

Аналитическое выражение буксования в безразмерных параметрах имеет вид (12), а его график приводится на рисунке 5.

$$\delta = \frac{kP}{1-(1-k)P^n} \tag{12}$$

где $k$ – угловой коэффициент касательной проведенной из начала координат к кривой буксования;

$n$ – показатель степени равный 2–3 в зависимости от типа грунта;

$P$ – безразмерный параметр (уравнение 9).

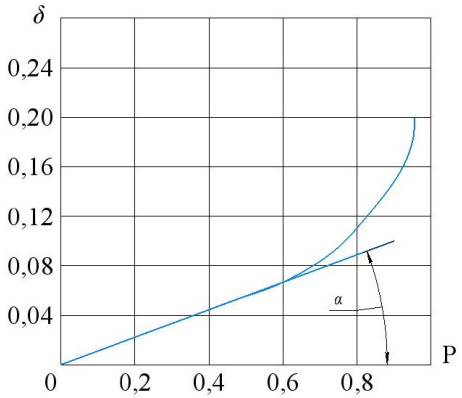



Рисунок 5 – Зависимость буксования движения в безразмерных параметрах

## Выводы

1. Максимальное значение касательной силы тяги трактора определяется по теоретической зависимости Кулона-Мора и экспериментальным данным сдвига штампов, либо элементов движителей трактора. Эти зависимости учитывают физико-механические свойства грунта и конструктивные особенности движителя.

2. При расчетах с использованием зависимости Кулона-Мора применяют экспериментальные данные зависимостей сдвига элементов, либо элементы движителей трактора $T_c = f(S)$, $\tau = f(q)$, $\varphi \in f(q)$.

3. Принимая допущение от идентичности изменения касательной силы тяги осей смещения штампа и приводя данные сдвига к безразмерным параметрам получаем аналитическое выражение (12) для расчета буксования движителей трактора.

Список использованных источников

1. Беккер М.Г. Введение в теорию системы местность-машина. М, Машиностроение, 1973. – 519 с.

2. Гуськов В.В. и др. Тракторы: Теория: – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.

3. Кнороз В.И. и др. Работа автомобильной шины. М., «Транспорт», 1978, – 238 с.

4. Ляхов А.П. Исследование тягово-сцепных свойств гусеничных болотоходных тракторов класса 40...60 кН : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Мн. – 1981. – 21 с.

5. Новиков А.В., Ляхов А.П. и др. Техническое обеспечение производства продукции растениеводства. Практикум, Минск, БГАТУ, 2011. – 408 с.

6. Скотников В.А. и др. Проходимость машин – Минск : Наука и техника, 1982. – 328 с.

**Abstract.** Despite the theoretical and experimental studies carried out, satisfactory analytical dependences have not yet been obtained that describe with sufficient accuracy the process of interaction between the propeller and the ground, the formation of traction force, and especially the slipping of the propeller.

УДК 631.352

**Вабищевич А.Г.,** кандидат технических наук, доцент;
**Янцов Н.Д.,** кандидат технических наук, доцент;
**Бакиров А.А.**, студент
*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

# 3D МОДЕЛИРОВАНИЕ МАЛОГАБАРИТНЫХ КОСИЛОК

***Аннотация.*** *В статье приводится некоторый опыт работы студентов, который возможен при сочетании знаний по специальности и владении методами компьютерного 3D моделирования в частности малогабаритных косилок.*

Компьютерное 3D моделированием в значительной степени способствует более быстрому усвоению материала студентами, благодаря простоте и наглядности, за счет чего и достигается выполнение главной задачи графического образования – сформировать у будущих инженеров абстрактное мышление и пространственное воображение, развивать творческие способности обучаемых.

Компьютерная модель призвана заменить реальный агрегат для изучения его устройства, принципа действия и рекомендуется в качестве наглядного пособия для студентов, выполняющих сборочный чертеж узла, агрегата или машины.

Студентами выполняются задания различного уровня сложности и совершенствуются навыки использования инструментария моделирования, заложенного в КОМПАС, стимулирующего мыслительную деятельность обучаемого.

Моделирование объектов с помощью средств компьютерной графики имеет ряд преимуществ: простота, многоплановость, быстрота выполнения, возможность гибкого изменения разрабатываемых моделей. Наглядность такого моделирования делает его предпочтительным в сравнении с другими способами, которые позволяют создать трехмерную модель изделия, содержащую информацию о геометрии объекта, благодаря чему в дальнейшем получают чертежи.

Система КОМПАС-3D ориентирована на формирование моделей изделий, содержащих как типичные, так и нестандартные, конструктивные элементы. Для наглядной демонстрации процесса сборки агрегатов, облегчения понимания назначения, устройства и

принципа действия создана библиотека (рисунок 1) банк данных из деталей, узлов, агрегатов, входящих в сборочные единицы машин.

Ниже предлагается варианты расположения экспериментальных косилок на базе мини-трактора, используемых для мелкотоварного производства при скашивании трав.

Для создания 3D модели недостаточно базовых знаний начертательной геометрии, а требуются необходимые знания по специальности.

Исходя из знаний студентов по специальности, вначале выполняются 3D модели деталей, а затем узлов (создается библиотека, банк данных) (рисунок 1, 2). Детали и узлы на рисунке расположены в хронологической последовательности их расположения также как на малогабаритной косилке.

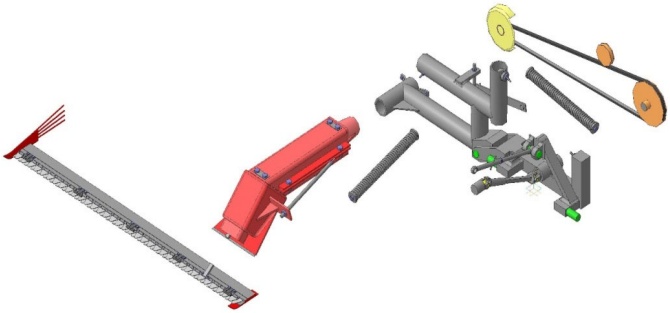


Рисунок 1 – Библиотека деталей и узлов к 3D модели косилки (вариант 1)

В варианте 1 малогабаритная косилка располагается сзади и сбоку справа от мини-трактора, а в варианте 2 – сбоку справа между передними и задними колесами.

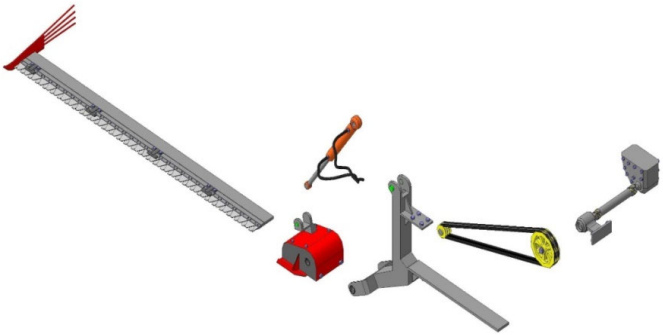


Рисунок 2 – Библиотека деталей и узлов к 3D модели косилки (вариант 2)

На основании банка данных библиотек деталей методами компьютерного 3D моделирования выполнены 3D модели секций и узлов бруса с двухножевым режущим аппаратом, редуктора, механизма навески, механизма привода и регулировки (рисунок 1, 2).

На основании банка данных библиотек методами компьютерного 3D моделирования выполнены 3D модели малогабаритных косилок в сборе в двух вариантах (рисунок 3, 4).

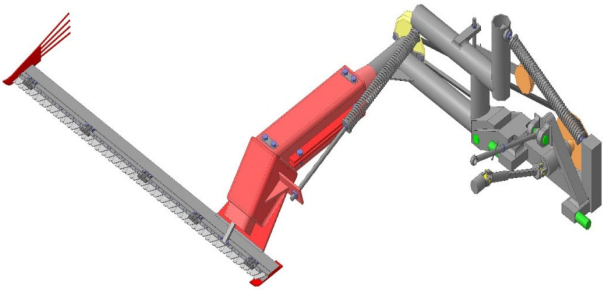


Рисунок 3 – 3D модель косилки (вариант 1)

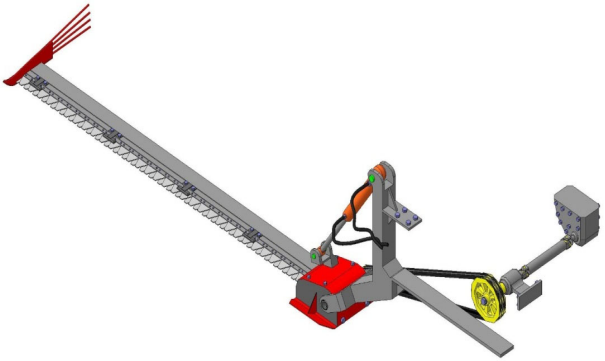


Рисунок 4 – 3D модель косилки (вариант 2)

По методике, изложенной выше, выполнена 3D модель минитрактора с косилками в двух вариантах в сборе (рисунок 5, 6).

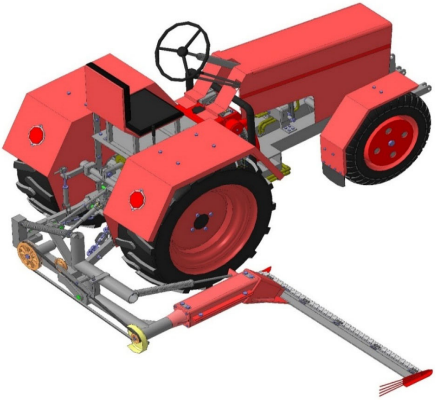


Рисунок 5 – 3D модель мини-трактора с косилкой (вариант 1)

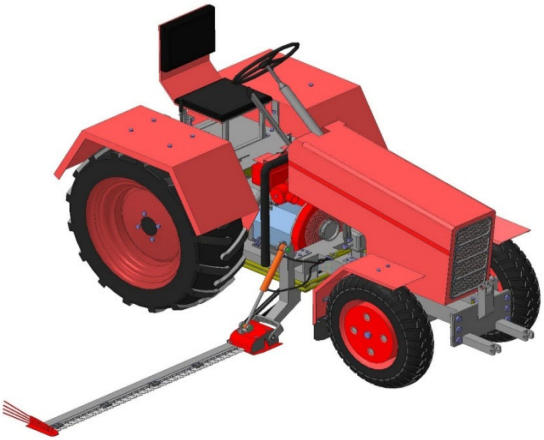


Рисунок 6 – 3D модель мини-трактора с косилкой (вариант 2)

Таким образом, студентами выполняются задания различного уровня сложности и совершенствуются навыки использования инструментария моделирования, заложенного в КОМПАС, стимулирующего мыслительную деятельность обучаемого.

Экспериментальные модели малогабаритных машин и агрегатов – это результат творческой инженерно-технической работы студентов, обучающихся в вузе после колледжей. Положительный результат этой творческой работы студентов – будущих специалистов

возможен при сочетании знаний по специальности и владении методами компьютерного 3D моделирования.

В ходе определенной творческой работы по созданию моделей малогабаритных машин студенты приобретают знания и умения практического решения инженерных задач графическими методами и формируют навыки создания конструкторской документации, что является условием качественного обучения и подготовки будущих специалистов.

УДК 636

**Брусенков А.В.,** кандидат технических наук, доцент
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, Российская Федерация*

## ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОТОЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРНЕПЛОДОВ НА МОЛОЧНОЙ ФЕРМЕ

***Аннотация**: Известно, что в общем кормовом балансе молочных ферм корнеплоды занимают небольший удельный вес, так как это связано с трудностью подготовки их к скармливанию. Поэтому поиск наиболее совершенных и эффективных конструкций машин и оборудования, применяемых в поточно-технологических линиях, способных выполнять качественно и производительно все операции, является актуальной задачей для агропромышленного комплекса нашей страны. Проведённые производственные испытания разработанной нами линии показали, что она по сравнению с аналогами менее энергоёмка и металлоёмка.*

Корнеплоды являются высокопитательными кормами. Высокая стоимость кормовой единицы корнеплодов и трудность механизации их приготовления (мойка, измельчение, раздача) поставили под сомнение использование этих кормов на многих животноводческих фермах. Однако корнеплоды необходимо оценивать не только по стоимости кормовой единицы, а и по тому влиянию, которое они

оказывают на молочную и мясную продуктивность животных и показатели воспроизводства. Поэтому исключать применение корнеплодов из рационов высокопродуктивных коров на животноводческих фермах в настоящее время нецелесообразно. Кроме того, правильное соотношение различных видов кормов в рационе (грубые корма, корнеплоды и другие) позволяет равномерно нагружать пищеварительный тракт, повысить эффективность их использования на 30…40%, полнее использовать пищеварительные способности животных, а, следовательно, повысить их продуктивность [1-5]. По данным ВНИИЖ, потери питательных веществ из-за несовершенства методов заготовки и хранения кормов достигают в сене 40…45%, в силосе – 23…30, сенаже – 12…20, корнеклубнеплодах – 20…25% [6].

Цель исследования – повышение продуктивности крупного рогатого скота за счёт более эффективного использования корнеплодов в их рационах.

Для выполнения этой цели были поставлены следующие задачи:

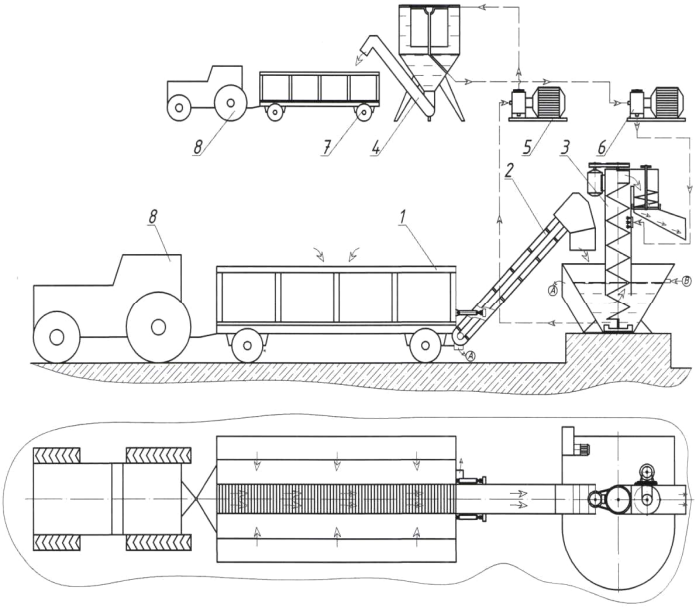
- разработать технологию и технические средства для приготовления корнеплодов и изготовить экспериментальный образец;
- провести экспериментальные исследования данной технологической линии в производственных условиях.

В ООО «АГРОИНВЕСТ» Инжавинского района Тамбовской области на животноводческом комплексе на 600 молочных коров на протяжении последних трёх лет кормление животных осуществлялось следующими видами кормов – кукурузный силос, сено, солома, концентрированные корма и минеральная подкормка (поваренная соль). В результате такого рациона потери кормов в процессе транспортировки, раздачи, скармливания и из-за низкой их усвояемости по отдельным видам составили от 5 до 20%. Результат от такого рациона – ежегодные надои на одну корову в последние годы составляли 4000…4100 кг. Поэтому требуется «корректировка» рациона молочных коров, а именно введение в него корнеплодов (сахарной свеклы).

Проведённый обзор и анализ литературных источников показал, что без учёта хранилищ в состав поточно-технологической линии приготовления корнеплодов входит от четырех до шести машин [7,8]. Недостатками данных технологических линий являются высокая металлоёмкость комплекта машин и энергоёмкость процесса,

низкая надёжность дозатора, неравномерность подачи корнеплодов и переизмельчение корнеплодов с обильным выделением сока.

На основании результатов теоретических исследований была разработана перспективная конструктивная схема технологической линии, разработаны чертежи и изготовлен весь комплект машин. С помощью данных машин, входящих в комплект, можно осуществлять транспортировку и приготовление корнеплодов на животноводческих фермах и комплексах с последующей их выдачей в составе кормосмеси животным (рисунок 1). Данный комплект состоит из прицепного питателя-дозатора 1 с транспортёром 2, мойки-измельчителя 3 (на базе ИКМ-Ф-10) с новым одноступенчатым вертикальным измельчающим устройством шнекового типа со сменной ножевой решёткой и стационарного отстойника 4 [8-12].




1 – питатель-дозатор; 2 – наклонный цепочно-планчатый транспортёр; 3 – мойка-измельчитель ИКМ-Ф-10; 4 – транспортер отстойника; 5, 6 – насосы; 7 – тракторный прицеп; 8 – трактор; А – отвод почвенных примесей; В – подвод воды

Рисунок 1 – Технологическая схема транспортировки и приготовления корнеплодов

Технологический процесс осуществляется следующим образом.

Корнеплоды загружались грейферным погрузчиком в кузов питателя-дозатора 1 и доставлялись на линию подготовки к скармливанию. Тракторист задним ходом подъезжал к мойке-измельчителю, с помощью гидроцилиндров совмещал выгрузное окно наклонного цепочно-планчатого транспортера 2 питателя-дозатора 1 с загрузочным окном мойки-измельчителя 3 и включал привод продольного цепочно-планчатого транспортера. С помощью него корнеплоды поступали на наклонный цепочно-планчатый транспортер и далее в мойку-измельчитель ИКМ-Ф-10 с новым измельчающим аппаратом. В моечной ванне ИКМ-Ф-10 корнеплоды отмывались и вертикальным шнеком подавались в камеру измельчающего аппарата, где захватывались навивкой вращающегося шнека и перемещались в осевом направлении сверху вниз к блоку ножей. Под действием сжатия и постоянного подпора со стороны витка шнека, корнеплоды продавливаются через ножевую решётку и выводятся из измельчающего аппарата по выгрузному рукаву в самоходный или прицепной кормораздатчик-смеситель с электронной системой взвешивания компонентов рациона. Привод транспортеров питателя-дозатора осуществляется от ВОМ трактора, а мойки-измельчителя ИКМ-Ф-10 – от электросети. Все оборудование технологической линии размещено в помещении с возможностью сквозного проезда через него трактора с кормораздатчиком. Помещение разделено на две части: в одной находится отстойник 4 с насосами 5 для откачки грязной воды и подачи осветленной воды 6, в другой – мойка-измельчитель 3 и питатель-дозатор.

Опыт эксплуатации данной линии показал высокую надёжность её работы – за весь стойловый период с осенне-зимний период 2019 года серьезных случаев отказа в работе комплекта машин не было. Фактическая производительность предлагаемой технологической линии приготовления корнеплодов составила около 9,0…9,5 т/час; суммарная установленная мощность – 67,4 кВт; обслуживающий персонал – 1…2 человека. Производительность труда выросла в 1,1…1,2 раза, остаточная загрязнённость после мойки корней сахарной свеклы снизилась с 10,8 до 0,25 %, а расход чистой воды при использовании отстойника сократился до 50 литров на тонну. В результате повышения качества приготавливаемых корнеплодов, снижения потерь при скармливании, 100 % поедаемости и усвояе-

мости масса животных повысилась на 6,02…6,58 %, а молочная продуктивность – на 1,75…2,44 %.

Предлагаемая технологическая линия транспортировки и приготовления корнеплодов существенно отличается от известных – все применяемое оборудование является серийным (за исключением отстойника), не считая небольших изменений в их конструкциях, которые могут быть самостоятельно доработаны и изготовлены в условиях сельхозпредприятий. Обработка корнеплодов на данной линии полностью механизирована, при её эксплуатации не требуется дополнительных затрат ручного труда и затрат на строительно-монтажные работы, проста в изготовлении, надёжна, менее металлоемка (в сравнении с КОРК-15А) – в 4,83 раза, удельные затраты труда – в 1,22 и энергии – в 1,69 раза, что в конечном результате позволяет получать конечный продукт высокого качества, соответствующий зоотехническим требованиям. Данную линию можно рекомендовать для приготовления корнеплодов во всех типах животноводческих хозяйств.

Список использованных источников

1. Морозов, Н.М. Анализ развития животноводства в России / Н.М. Морозов, А.Н. Рассказов // Вестник ВНИИМЖ, 2016 – №2(22). – С. 126–133.

2. Косолапов, В.М. Эффективность применения современных технических средств подготовки и раздачи кормов на предприятиях по производству молока / В.М. Косолапов, А.В. Шевцов, А.Д. Милев // Вестник ВНИИМЖ, 2016. – №2(22). – С. 121–125.

3. Мильман, И.Э. Сушка кормов / И.Э. Мильман, Ю.В. Есаков. – М.: Росельхозиздат, 1985. – 48 с.

4. Фролов, В.Ю. Классификация технических средств для приготовления и раздачи кормовых смесей на малых фермах / В.Ю. Фролов, И.Е. Припоров, Д.П. Сысоев // Научный журнал КубГАУ, 2015. – №114(10). – С. 1–13.

5. Морозов, Н.М. Создание прочной кормовой базы и технических средств нового поколения – залог успешного развития животноводства / Н.М. Морозов, В.К. Скоркин, А.В. Скоркин // Вестник ВНИИМЖ, 2016. – №4(24). – С. 4–9.

6. Скоркин, В.К. Инновационные технологии и технические средства для производства конкурентоспособной продукции // Вестник ВНИИМЖ, 2016. – №2(22). – С. 110–117.

7. Шамов, Н.Г. Технологическая линия обработки корнеклубнеплодов / Н.Г. Шамов // Техника в сельском хозяйстве, 1985. – №8. – С. 22

8. Брусенков, А.В. Технико-экономическая оценка эффективности приготовления корнеклубнеплодов крупному рогатому скоту / А.В. Брусенков, В.П. Капустин // Вопросы современной науки и практики. Университет имени В.И. Вернадского. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019 – №4 (74). – С. 56–63.

9. Пат. №2722164 РФ, МПК A23N 17/00. Технологическая линия для приема и обработки корнеклубнеплодов / А.В. Брусенков, В.П. Капустин – №2019118149; заяв. 11.06.2019; опубл. 27.05.2020. Бюл. №15.

10. Брусенков, А.В. Анализ технологической линии доставки и приготовления корнеклубнеплодов / А.В. Брусенков, В.П. Капустин // Наука в центральной России: науч.-производ. периодич. журнал. – Тамбов: Изд-во ФГБНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии. – 2019. – №4(40). – С. 49–55.

11. Брусенков, А.В. Технологическая линия приготовления корнеклубнеплодов / А.В. Брусенков // Вопросы современной науки и практики. Университет имени В.И. Вернадского. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019 – №2 (72). – С. 152–157.

12. Брусенков, А.В. Повышение эффективности приготовления корнеклубнеплодов / А.В. Брусенков, И.Е. Ильина // Наука в центральной России: научно-производственный периодич. журнал. – Тамбов: Изд-во ФГБНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии, 2019 – №2(38). С. 91–97.

13. Синельников, В.М. Концептуальные подходы к инновационному обновлению кластера молочного скотоводства / В.М. Синельников, А.И. Попов, Н.М. Гаджаров // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2019. – №1(71). – С. 86–94.

**Abstract.** It is known that root crops occupy the largest share in the total feed balance of dairy farms, as this is due to the difficulty of preparing them for feeding. Therefore, the search for the most advanced

and efficient designs of machines and equipment used in production lines capable of performing all operations efficiently and productively is an urgent task for the agro-industrial complex of our country. The production tests of the line developed by us have shown that it is less energy-intensive and metal-intensive compared to analogues.

УДК 628.93:635.64.03:635.044

**Дубровский, А.А.,** кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
*ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», Российская Федерация*

# ПРИМЕНЕНИЕ СВЕТОДИОДНЫХ СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ С ИЗМЕНЕННЫМ СПЕКТРАЛЬНЫМ СОСТАВОМ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ РАССАДЫ ТОМАТОВ В УСЛОВИЯХ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА

***Аннотация.*** *Одним из важных направлений является развитие тепличного хозяйства. Овощеводство нуждается в комплексной интенсификации и научном обеспечении, поэтому изучение и разработка новых технологии в секторе агробизнеса крайне необходима. Вопросы, связанные с фотосинтезом растений, выращиваемых в условиях защищенного грунта, всегда оставляли ряд вопросов. Особенно усовершенствование технологических приемов в искусственном освещении теплиц требует усовершенствования технологий.*

**Цели и задачи исследований.** В научной работе использованы семена и растения томатов сорта «розовый гигант». Объекты исследования – процесс облучения растений светодиодными светильниками с регулируемым спектральным составом излучения.

Предметом исследования является взаимосвязь энергоемкости процесса облучения растений с энергетическими и спектральными характеристиками светодиодного светильника, воздействующего на растения в процессе роста.

Цель работы – оценить возможность использования светодиодного освещения с определенной цветовой температурой в условиях

закрытого грунта в теплицах УНИЦ «Агротехнопарк Белгородского ГАУ.

**Материалы и методы исследований.** Опыт длился в течении 45 дней

В работе использованы теоретические и экспериментальные (лабораторные) методы научного исследования.

Из партии семян одного урожая и одного сорта было сформировано по принципу аналогов 2 группы по 70 образцов в каждой.

Для эксперимента были взяты гибриды «Розовый слон» полудетерминантного типа.

Схема опыта представлена в таблице 1.

Контрольная группа (1 группа) освещалась светильниками с полным спектром излучения, а опытная (2 группа) с выделенной длинной спектра от 450 до 650 нм.

Параметры микроклимата были аналогичными для всех групп рассады и соответствовали нормативным показателям.

Рассаду выращивали горшечным способом, это способ является наиболее эффективным для получения ранних овощей.

Таблица 1 – Схема опыта

| Группы | |
|---|---|
| 1 - Контрольная | 2 - Опытная |
| полный спектром светового излучения | полный спектр с преобладанием 450-650 нм |

Для начала опыта семена были помещены в чашку петри, обогащены водой для прорастания, находясь в теневой фазе.

После прорастания в горшках с подготовленной почвой были сделаны небольшие углубления и семена томатов посеяли в них и помещены под СД освещение с различным спектральным составом.

Досвечивания вели круглосуточно. Уровень освещенности составлял не менее 8–15 тыс. люкс. С четвертых суток досветка составляла 18–20 часов до пикировки рассады.

Начиная с третьей недели период досвечивания постепенно сокращали с 18 до 12 часов в сутки на день высадки, температура воздуха снижается до 19 °С днем и 17 °С ночью.

При длительном пасмурном периоде температуру воздуха днем снижали до 17,5 °С, ночью – до 15,5–16,0 °С.

Температура воды при поливе рассады не ниже 20-23 °С.

**Результаты исследования**. Из приведенных данных таблицы 2 видно, что в процессе роста и развития растения всех групп имели различную высоту стебля, диаметр и количество листьев.

Таблица 2 - Характеристика рассады томата

| Показатели | Рассада к высадке | |
|---|---|---|
| | полный спектр | полный спектр с преобладанием 450-650 нм |
| Высота растения, мм | 208±0,82 | 211±0,88 |
| Число листьев, шт | 17,5±,0,93 | 19,2±0,92 |
| Диаметр стебля, мм | 3,7±0,74 | 4,2±0,42 |

Высота рассады томатов второй опытной группы превышала растения контрольной группы на 3 мм, что на 1,44 % выше контроля, где спектр света был полным.

Размеры диаметра стебля также различались.

В опытной группе этот показатель равен 4,2 мм, а в контрольной 3,7 мм.

Число листьев при использовании для досвечивания томата спектрального состава с преобладанием 450–650 нм было выше контроля на 9,7 %.

В результате исследований установлено, что преобладание в составе спектра 450 и 650 нм способствовало изменению биометрических показателей выращиваемых растений.

Различная энергия роста растений у всех групп является следствием влияния использованного спектра света и, как следствие, самого процесса фотосинтеза (таблица 3).

Продолжительность фазы «всходы-первый настоящий лист» различалась на 3 суток при использовании спектрального состава с преобладанием 450–650 нм, то есть ранее на 3 дня, чем в контроле.

Таблица 3 – Продолжительность фаз роста рассады томата, суток

| № группы | Посев - всходы | Всходы - первый настоящий лист |
|---|---|---|
| 1 контрольная группа (полный спектр) | 10±0,88 | 16±0,92 |
| 2 опытная группа (полный спектр с преобладанием 450-650 нм) | 10±0,91 | 13±0,87 |

## Выводы

1. Анализ источников литературы и ряда исследований, сделанных учеными в области светотехники позволяют сделать умозаключение, что искусственное освещение с использованием светодиодов, делает возможным сократить затраты на электроэнергию и освещение рассады, выращиваемой в условиях защищенного грунта.

2. Исследования в области выращивания рассады в теплицах с применением светодиодного освещения позволяют открыть новые пути решения управления процесса фотосинтеза растений.

3. Рассада опытной группы, где применяли полный спектр с преобладанием 450–650 нм превышала растения контрольной группы по всем фенологическим датам и биометрическим показателям. Появление первого листа отмечали на трое суток раньше, при преобладании 450–650 нм, а число листьев на 9,7 % больше, чем при полном спектре светодиодного освещения.

5. Проведенный опыт ставит ряд вопросов и задач перед исследователями в данной области, и требует новые пути поиска и разработки режимов искусственного освещения в условиях защищенного грунта.

Список использованных источников

1. Дубровский, А.А. Использование светодиодного освещения с различной цветовой температурой при выращивании родительского стада птицы / А.А. Дубровский, В.В. Смирнова // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2020. – № 4(63). – С. 188–195.

2. Инновационные системы оценки качества и безопасности пищевых продуктов / Н.И. Семикопенко, А.А. Деревянко, Н.С. Трубчанинова [и др.] // Проблемы и перспективы инновационного развития агроинженерии, энергоэффективности и IT-технологий : Материалы XVIII Международной научно-производственной конференции, Белгород, 26–27 мая 2014 года. – Белгород: Белгородская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Я. Горина, 2014. – С. 123.

3. Коцарева, Н.В. Научные основы производства овощей в Белгородской области / Н.В. Коцарева, И.А. Быков // Бюллетень научных работ Белгородской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Я. Горина. – 2009. – № 17. – С. 9–12.

5. Коцарева, Н.В. Ресурсосберегающие технологии выращивания семян моркови в условиях Юго-Запада ЦЧР / Н. В. Коцарева // Научное обозрение. Биологические науки. – 2016. – № 2. – С. 74–88.

**Abstract**: One of the important directions is the development of greenhouse farming. Vegetable growing needs comprehensive intensification and scientific support, so the study and development of new technologies in the agribusiness sector is extremely necessary. Questions related to photosynthesis of plants grown in protected soil conditions have always left a number of questions. Especially the improvement of technological techniques in artificial lighting of greenhouses requires the improvement of technologies.

УДК: 62-932.4

**Мануйленко А.Н.,** преподаватель;
**Вендин С.В.,** доктор технических наук, профессор
*ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», п. Майский, Российская Федерация*

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ОЗОНАТОР ВОЗДУХА НА ОСНОВЕ КОРОННОГО РАЗРЯДА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

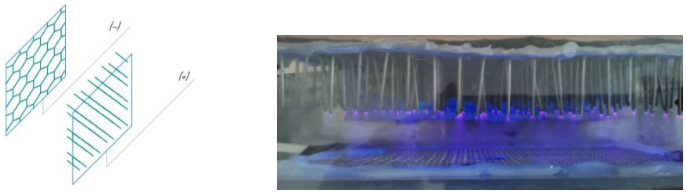
***Аннотация.*** *Оной из основных задач аграрного производства является создание и поддержание зоотехнических и ветеринарно-санитарных норм качества воздушной среды, для ограничительных мер и профилактики распространения заразных болезней животных. Предлагается разработанная конструкция электрического озонатора, работающего на основе коронирующего разряда для улучшения показателей качества воздушной среды в производственном помещении.*

В настоящее время применяются следующие способы регулирования качества воздушной среды в производственных помещениях: *механический, физический, химический, биологический, комбинированный*. Одним из эффективных способов оздоровления и улучшения газового состава воздушной среды является озонирование. При этом свою технологическую эффективность доказали электроозонаторные установки, реализующие различные физические принципы получения озона, в том числе и работающие на основе коронирующего разряда [1-7].

Цель и научная новизна представленных исследований состоит в разработке конструкции электрического озонатора, для улучшения показателей качества воздушной среды и санитарного состояния производственных помещений. При этом задачи исследований включали: анализ известных технических решений, разработку конструкции электрического озонатора воздуха, работающего на основе коронирующего разряда, а также проведение теоретических и экспериментальных исследований.

В представленных исследованиях в качестве прототипа была выбрана электроозонаторная установка работающая на основе коронирующего разряда и состоящая из источника высокого напряжения, электродов и вентилятора [8]. Недостатками данной установки являются отсутствие защиты от включения и выключения устройства в случае отказа работы вентилятора или выхода из строя генератора высокого напряжения, а также низкая надежность электродов из-за коаксиального расположения их с диэлектриком, что может привести к пробою электрического разряда непосредственно на корпус установки.

Поэтому для исключения имеющихся недостатков в ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ на кафедре «Электрооборудования и электротехнологий в АПК» была разработана новая конструкция излучателя электроозонатора на коронном разряде. Излучатель выполнен в виде двух керамических оснований с закрепленными на них вольфрамовыми электродами, на одном основании в виде сетки имеющую сотовую форму ячейки, на другом в виде иглы. Конструкция разработанного излучателя предусматривает регулировку воздушного зазора между керамическими основаниями и электродами, благодаря чему обеспечивается регулировка производительности излучателя на одном источнике высокого напряжения [9-11]. Схема и внешний вид излучателя представлена на рисунке 1.



а б

Рисунок 1 – Схема (а) и внешний вид (б) излучателя

Общая технологическая схема конструкции электрического озонатора воздуха, работающего на основе коронирующего разряда, представленная на рисунке 2.

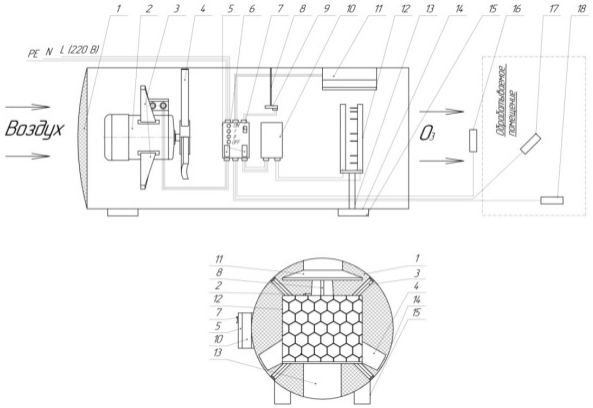



Рисунок 2 – Конструкция электрического озонатора воздуха, работающего на основе коронирующего разряда: 1 – защитная сетка; 2 – электродвигатель; 3 – лапки крепления электродвигателя; 4 – лопасти вентилятора; 5 – блок управления; 6 – предохранители; 7 – кнопка включения/выключения; 8 – кронштейн крепления; 9 – вакуумный флюгер; 10 – регулируемый генератор высокого напряжения; 11 – компрессор; 12 – излучатель; 13 – кронштейн крепления; 14 – озоноустойчивый корпус; 15 – прорезиненные ножки; 16 – датчик озона; 17 – датчик контроля озона; 18 – датчик контроля температуры воздуха

Для проведения экспериментальных исследований был разработан и изготовлен опытный образец электрического озонатора воздуха работающего на коронном разряде. Общий вид установки показан на рисунке 3.

Рисунок 3 – Разработанный опытный образец электрического озонатора воздуха на коронном разряде

Экспериментальные исследования работы электрического озонатора проводились в соответствии с реализацией плана второго порядка Коно для 2-х факторного эксперимента.

В качестве целевой функции была принята концентрации озона (мг/м$^3$) в воздушной среде. Основные воздействующие факторы при проведении эксперимента представлены в таблице 1 [12].

Полученная по экспериментальным данным математическая модель влияния напряжения на излучателе, b ($x_1$) и разрядного промежутка между электродами, мм ($x_2$) на концентрацию озона (мг/м$^3$) (y) в кодированных переменных имеет вид:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{1.2} x_1 x_2 + b_{11} x_1^2, \qquad (3)$$

где $b_0 = 4{,}74$, $b_1 = -2{,}18$, $b_2 = 2{,}59$, $b_{1.2} = -0{,}46$, $b_{11} = -0{,}6483$ – коэффициенты регрессионного уравнения.

Коэффициенты уравнения являются значимыми, адекватность модели удовлетворяет критерию Фишера ($F_{рас}=2{,}88 \leq F_{табл}=3{,}16$). На рисунке 4 представлена построенная по уравнению (3) расчетная поверхность изменения концентрации озона в зависимости от натуральных значений напряжения на излучателе и расстояния разрядного промежутка.

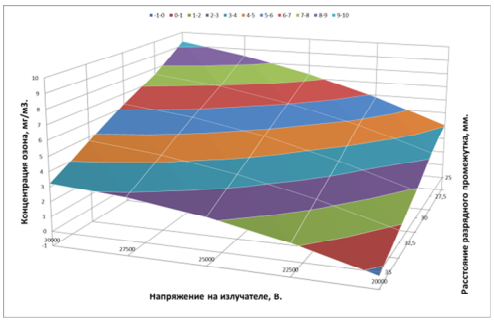



Рисунок 4 – Изменение концентрации озона в зависимости от натуральных значений напряжения на излучателе и расстояния разрядного промежутка

Согласно приведенной поверхности следует отметить, что концентрация озона возрастает с увеличением напряжения и уменьшением расстояния разрядного промежутка, что согласуются с общими теоретическими положениям об образовании озона при корон-

ном разряде. Установлено также, что для исследуемой конструкции электроозонатора наибольшие значения концентрации озона (до 10 мг/м$^3$) достигаются при напряжении 30 кВ и воздушном промежутке 25 мм. Увеличение напряжения и уменьшение воздушного промежутка приводит к нарушению озонообразования с переходом в обыкновенный электрический разряд, что недопустимо.

Представлена конструкция опытного образца электроозонатора для обеззараживания воздуха в производственных помещениях и результаты экспериментальных исследований. Установлено, что для предлагаемой конструкции электроозонатора наибольшие значения концентрации озона (до 10 мг/м$^3$) можно получить при напряжении 30 кВ и воздушном промежутке 25 мм. Увеличение напряжения и уменьшение воздушного промежутка приводит к нарушению озонообразования с переходом в обыкновенный электрический разряд, что недопустимо.

Список использованных источников

1. Афанасьев М.А., Копылова О.С., Ивашина А.В., Антоненко А.И. Технологии очистки озоном // В сборнике: Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве 80-я научно-практическая конференция. Ставрополь: издат. Ставропольский ГАУ, 2015. С. 32–37.

2. Сторчевой В.Ф., Чернов Р.Ю. Снижение потерь энергетических показателей электроозонаторов // Природообустройство. 2011. № 2. С. 95–98.

3. Бардакова Е.А., Андреянов С.А. Применение озонирования как наиболее экологического метода дезинфекции // В сборнике: Энергия будущего: В рамках рынка НТИ ЭНЕРДЖИНЕТ. Сборник трудов научно-практической конференции молодых ученых электроэнергетического факультета. – Ставрополь: Изд-во «АГРУС», 2021. С. 33–35.

4. Сторчевой В.Ф., Сучугов С.В., Компаниец А.Е. Создание озонно-ионной воздушной среды в закрытых помещениях для содержания животных и птицы // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2019. № 3 (91). С. 35–39.

5. Сторчевой В.Ф., Компаниец А.Е. Применение озонатора-ионизатора на молочных фермах // В сборнике: Доклады ТСХА. 2019. С. 294–296.

6. Сторчевой В.Ф., Компаниец А.Е., Кабдин Н.Е. Исследование параметров и режимов работы озонатора-ионизатора для молочных ферм // Агроинженерия. 2020. № 3 (97). С. 50–54.

7. Горбатовский Е.С., Вендин С.В. Применение электроозонировния воздуха в птичнике // В книге: Горинские чтения. Инновационные решения для АПК. Материалы Международной студенческой научной конференции. – Майский: Изд-во ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2021. С. 48.

8. Лебедев Д.В., Кузьменко П.С., Якименко М.О., Лебедев И.Д. Озонатор // Патент РФ № 2523805. Патентообладатель ФГБОУ ВПО Кубанский ГАУ. 2014. Бюл. № 21. – 5 с.

9. ГОСТ 31829-2012. Оборудование озонаторное. Требования безопасности. – Введ. 01 января 2014. – М.: Стандартинформ, 2019. – 11 с.

10.Мануйленко А.Н., Вендин С.В. Электрический озонатор воздуха // Патент РФ № 205379. Патентообладатель ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ. 2021. Бюл. № 20. – 5 с.

11.Мануйленко А.Н., Вендин С.В. Электрический озонатор воздуха // Патент РФ № 204184 Патентообладатель ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ. 2021. Бюл. № 14. – 6 с.

12.Баженов В.И., А.Н. Стрельченко. Основы планирования и моделирования в теории инженерного эксперимента. – М.: МАИ, 1983. – 59 с.

**Abstract.** One of the main tasks of agricultural production is the creation and maintenance of zootechnical and veterinary-sanitary standards of air quality, for restrictive measures and prevention of the spread of infectious animal diseases. The developed design of an electric ozonator operating on the basis of a corona discharge is proposed to improve the quality of the air environment in the production room.

УДК 631.331.85

**Сахнов А.В.,** кандидат технических наук, доцент;
**Савельев Е.А.,** аспирант
*ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», г. Белгород, Российская Федерация*

# ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ВЫСЕВАЮЩИЙ АППАРАТ СЕЯЛКИ ТОЧНОГО ВЫСЕВА

***Аннотация*** *В работе рассмотрена посевная техника для пропашных культур, обозначена значимость пневматических сеялок точного высева, а также конструктивно разработан вариант повышения урожайности за счёт увеличения качества сева пропашных культур.*

## Введение

Пропашные культуры бывают техническими (сахарная свёкла, подсолнечник, табак, хлопчатник), кормовыми (топинамбур, кормовая капуста и др.) [1,2]. Их сеют преимущественно семенами или высаживают рассадой широкорядным и ленточным способами [3].

Посевная техника играет основополагающую роль и выполняет одну из ключевых функций при производстве сельскохозяйственной продукции [4].

Применение современных технологических решений дает возможность повысить эффективность производства при выращивании различных сельскохозяйственных культур. Использование сеялок точного высева позволяет оптимизировать использование семян, что повышает эффективность и снижает затраты при выращивании различных культур [5]. Сеялки точного высева, по своему исполнению, делятся на механические и пневматические. Наиболее перспективными являются пневматические сеялки точного высева, которые в свою очередь по конструкции высевающего аппарата делятся на дисковые и барабанные. У дисковых высевающих аппаратов может быть достигнут более точный отбор семян и надежное удержание их при подаче к месту сбрасывания. Барабанные высе-

вающие аппараты применяются для высева единичных семян (пунктирный посев) и группами (гнездовой посев) [6].

Пневматические сеялки точного высева с барабанным высевающим аппаратом имеют недостаток, заключающийся в формировании двойников и/или пропусков семян.

Для снижения вероятности появления двойников или пропусков при посеве необходимо разработать высевающий аппарат, позволяющий исключить выше названные недостатки.

**Основная часть**

В нашей работе проведен обзор существующих конструкций высевающих аппаратов. Известен пневматический высевающий аппарат сеялки СОПГ-4,8, который состоит из полого корпуса, изготовленного из легкого сплава, внутри которого с левой стороны размещаются детали и узлы высевающего аппарата, а с правой - цилиндрические шестерни, предназначенные для передачи вращательного движения. Внутри корпуса на полой оси располагается ступица, к которой крепится высевающий барабан и подпружиненный ролик вакуум-отсекателя. К концу той же полой оси прикреплен металлический патрубок, по которому отсасывается воздух из полости барабана. Несколько выше зоны забора семян установлен резиновый ролик съема лишних семян, вращающийся в сторону, обратную барабану [6].

Недостатком такого устройства является устройство высева и резиновый ролик, которые могут травмировать семена.

Известно устройство для посева, которое имеет сошник, корпус, в котором установлен диск для высева семян со сквозными отверстиями, жестко закрепленный на валу с возможностью вращения и имеющий ограничительную пластину с выталкивателями, установленную неподвижно по внутренней стороне диска для высева семян, ограничивающую истечение семян из семяпровода, отличающееся тем, что сошник, диск для высева семян и ограничительная пластина выполнены сменными, при этом для осуществления гнездового посева семян в один или несколько уровней предусмотрен диск для высева семян с ограничительной пластиной с тремя или более выталкивателями семян из отверстий диска для высева семян и сошник, формирующий семенное ложе соответственно на одном или разных уровнях, а для осуществления односеменного посева на одном уровне предусмотрен диск для высева семян с ограничи-

тельной пластиной с одним выталкивателем и сошник, формирующий семенное ложе на одном уровне [7].

Недостатком описанного выше устройства является отсутствие конструктивных элементов для захвата семени пневматическим способом и её сева, не прибегая к механическому воздействию.

Нами предлагается, в котором исключены ранее рассмотренные недостатки. пневматический высевающий аппарат сеялки точного высева представлен на рисунке 1.

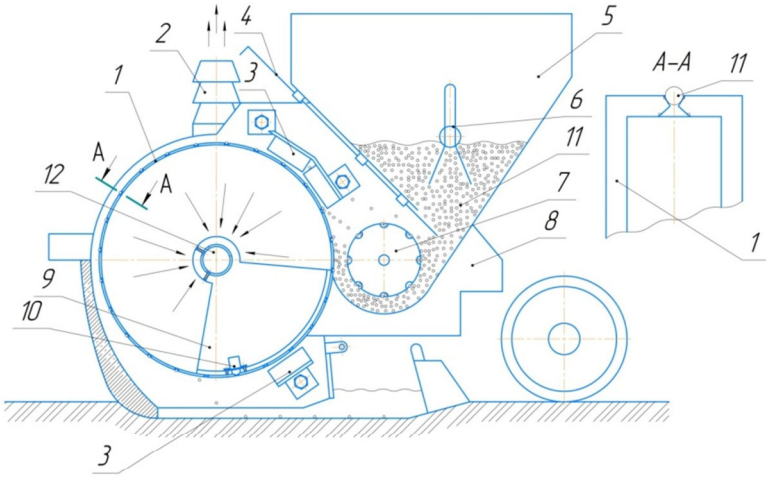



Рисунок 1. Схема пневматического высевающего аппарата сеялки точного высева (общий вид)
1 – высевающий барабан, 2 – воздуховод, 3 – щётки снятия лишних семян, 4 – заслонка регулировки подачи семян, 5 – бункер, 6 – ворошилка, 7 – дозатор, 8 – корпус, 9 – ограничитель, 10 – устройство чистки отверстий под семена, 11 – семена, 12 – пустотелый вал

Предлагаемая конструкция отличается конструктивно от своих аналогов тем, что высевающий барабан закреплён на пустотелом валу с возможностью вращения и имеет собственный привод и ограничитель разряжения воздуха воздействующего на семена (рисунок 2). Пустотелый вал имеет отверстия и жёстко связан с воздуховодом, посредством которого создаёт внутри высевающего барабана разряжение воздуха, что обеспечивает присасывание семян к высевающему барабану. Высевающий барабан имеет внутреннюю и внешнюю проточку для направления устройства чистки отвер-

стий под семена и формирования ряда семян соответственно, а также отверстия, через которые по средством разряжения воздуха семена присасываются к барабану.

Механизм привода высевающего барабана не контактирует с пустотелым валом и жёстко соединен с высевающим барабаном, а также соединён приводом с дозатором, который вращается в противоположную сторону вращения барабана.

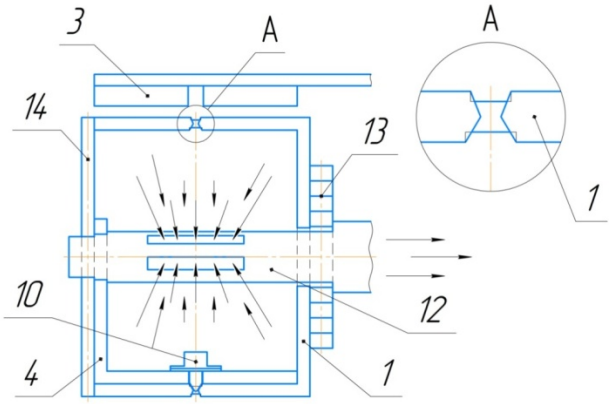



Рисунок 2. Схема высевающего барабана пневматического высевающего аппарата сеялки точного высева (вид спереди)
1 – высевающий барабан, 3 – щётки снятия лишних семян, 10 – устройство чистки отверстий под семена, 13 – механизм привода высевающего барабана, 14 – крышка высевающего барабана

Для очистки высевающего барабана от лишних семян или загрязнения, на корпусе размещены, с возможностью замены, щётки снятия лишних семян. Корпус барабана герметично закрыт крышкой, которая устанавливается на пустотелый вал с возможностью вращения.

Работает агрегат следующим образом: открывая заслонку бункера, тем самым настраивая подачу семян из бункера, семена поступают к дозатору, который подаёт их к высевающему барабану; высевающий барабан в котором создаётся разрежение, при помощи отверстий присасывает семена, далее лишние семена сметаются неподвижными щётками снятия лишних семян, которые расположены друг за другом по обе стороны от присосанной семечки, что-

бы не задеть её; по ходу движения барабана, семена достигая нижней точки, где размещён ограничитель, который закрывает отверстия, тем самым ограничивая область барабана от разрежения, падают к земле, а отверстия очищаются при помощи далее расположенного устройства чистки отверстий под семена и щёткой такой же как и щётки снятия лишних семян.

**Заключение**

Разработанный пневматический высевающий аппарат сеялки точного высева за счёт щёток снятия лишних семян не оказывает на семена разрушительного действия, а по средствам ограничителя и особой конструкции высевающего барабана увеличивается точность сева, что на прямую влияет на увеличение качества сева пропашных культур.

Список использованных источников

1. Пропашные культуры севооборота. [Электронный ресурс] – URL:https://universityagro.ru//земледелие/пропашные-культуры-севооборота/#:~:text=Пропашные%20культуры%20–%20группа%20культур%20севооборота,%2C%20кормовым%2C%20техническим%20и%20зернобобовым. (дата обращения: 08.10.2022).

2. Уход за пропашными. [Электронный ресурс] – URL:http://www.bibliotekar.ru/2-7-77-viliyams-travopolnaya-sistema/16.htm. (дата обращения: 08.10.2022).

3. Пропашные культуры. [Электронный ресурс] – URL:https://bigenc.ru/agriculture/text/4595444. (дата обращения: 08.10.2022).

4. Зерновые механические и пневматические сеялки. [Электронный ресурс] – URL:https://tyfermer.ru/zernovye-mehanicheskie-i-pnevmaticheskie-seyalki. (дата обращения: 09.10.2022).

5. Современные сеялки – точный инструмент. [Электронный ресурс] – URL:https://umz-group.ru/stati/преимущества-применения-сеялок-точн. (дата обращения: 09.10.2022).

6. Устройство овощных сеялок и их основных рабочих органов. [Электронный ресурс] – URL: https://sejalki.ru/articles/obzor-i-otsenka-konstruktsiy-ovoshnih/ustroystvo-ovoshnih-seyalok-i-ih-osnovnih.html. (дата обращения: 09.10.2022).

7. Пат. RU 2411710 C1, A01C 7/04 (2006.01) Устройство для посева / А.В. Сахнов – 20.02.2011 Бюл. №5.

**Abstract** In the work, the sowing technique for row crops is considered, the importance of pneumatic seeders for precise seeding is indicated, and a variant of increasing productivity by increasing the quality of sowing of row crops is constructively developed.

УДК 631.331

**Романюк Н.Н.**, кандидат технических наук, доцент;
**Агейчик В.А.**, кандидат технических наук, доцент;
**Еднач В.Н.**, кандидат технических наук, доцент
*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь,*

# К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ЗЕРНОВОЙ СЕЯЛКИ

***Аннотация.*** *В статье предлагается оригинальная конструкция распределительной головки пневматической зерновой сеялки, которая способна обеспечить равномерность распределения семян по сошникам как на склонах, так и на выравненных участках поля.*

## Введение

Одной из основных проблем использования сеялок с централизованной высевающей системой является неравномерное распределение семян по сошникам. Эта проблема усиливается при их использовании на склонах и связана с тем, что при наклоне вертикальной трубы распределителя на величину крутизны склона вместе с рамой сеялки происходит изменение траектории движения семян под действием составляющей силы тяжести, направленной вдоль склона вниз [1, 2].

Целью исследований является разработка конструкции распределительной головки пневматической зерновой сеялки, способной обеспечить равномерность распределения семян по сошникам как на склонах, так и на выравненных участках поля.

## Основная часть

Для решения поставленной цели нами поставлены следующие задачи исследований:

1. Провести патентные исследования и проанализировать конструкции высеваюших систем пневматических зерновых сеялок.

2. Разработать конструкцию распределительной головки пневматической зерновой сеялки, способную обеспечить равномерность распределения семян по сошникам как на склонах, так и на выравненных участках поля.

Проведенный патентный поиск показывает, что известны: распределительная головка пневматической сеялки для высева сыпучих материалов (SU 1618309 A1 A01C 7/04, 15/04, 07.01.1991г.) и распределительная головка пневматической зерновой сеялки (патент РФ №2556066, МПК A01C 7/04, 10.07.2015, Бюл. №19)

Недостатком первой является то, что устройство компенсирует только неравномерность распределения семян, возникающую от действия центробежных сил на коленообразном патрубке и не обеспечивает равномерность распределения семян по сошникам при работе на склонах, второй – то, что при отклонении на склонах отражателей от внутренних стенок трубы семена попадают в образовавшуюся между ними полость и, располагаясь там, в дальнейшем препятствуют возвращению отражателей на выровненных участках поля в первоначальное положение, что нарушает равномерность распределения семян по сошникам.

На рисунке 1 дана оригинальная конструкция распределительной головки пневматической зерновой сеялки [3] (а) – схема распределительной головки; б) – расположение отражателей с грузиками относительно трубы при работе сеялки на горизонтальной плоскости, разрез А-А; в) – положение отражателей семян при работе сеялки на склоне с крутизной Ω).

Распределительная головка пневматической зерновой сеялки состоит из распределителя 1 с отводящими патрубками 2, турбулизатора 3, установленного во входном трубопроводе, и коленообразного патрубка 4. Турбулизатор 3 состоит из четырех отражателей (трех отражателей 5 и одного отражателя 6) с грузиками 7, закрепленных к трубе 8 шарнирно в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Отражатель 6, находящийся со стороны большого диаметра коленообразного патрубка 4, установлен под углом β к вертикали в сторону центральной оси трубы при нахождении грузика 7 вертикально. Каждый отражатель 5 и 6 расположен в полости, образованной внутренней стенкой трубы 8 и прикрепленной к ней с

помощью клея по контуру верхней и боковых граней отражателя с зазором относительно них с охватом расположенной в сторону центральной оси трубы поверхности отражателя полимерной пленкой 9 с возможностью беспрепятственного отклонения отражателя на склонах и возвращения его в первоначальное положение на выравненных участках поля.

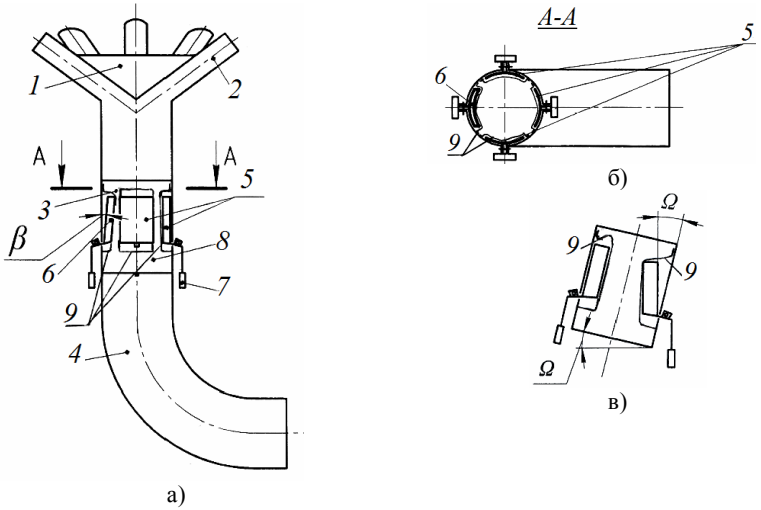



Рисунок 1 – Распределительная головка пневматической зерновой сеялки

При работе зерновой сеялки на равнине отражатели 5 прилегают к трубе 8 и не влияют на направление движения семян. Отражатель 6 выводит семена, двигающиеся за счет центробежной силы в пристеночной зоне в центральную часть трубы, выравнивая концентрацию семян по всему сечению трубы. При работе сеялки на склоне и ее наклоне на величину крутизны склона Ω турбулизатор 3 наклоняется вместе с ним, а нижний по склону отражатель 5 остается в вертикальном положении за счет грузика 7 и изменяет направление движения семян. При этом отраженные семена начинают направляться в сторону вверх по склону, что обеспечивает выравнивание потока семян по всему сечению трубы перед распределителем 1. Так как величина отклонения отражателя от оси трубы равна крутизне склона Ω, то отражатель автоматически изменяет количество отраженных семян в зависимости от крутизны склона Ω. Отражатель 6 при работе на склоне выполняет такую же функ-

цию, как и остальные отражатели 5. Однако он и при работе на склонах обеспечивает выравнивание неравномерности концентрации у коленообразного патрубка, возникающей за счет центробежной силы.

Так как сеялка может наклоняться в любой плоскости (и в продольной, и в поперечной), то отражатели установлены с четырех сторон через 90°. В общем случае в работу могут включаться одновременно два отражателя. Поскольку каждый отражатель 5 и 6 расположен в полости, образованной внутренней стенкой трубы 8 и прикрепленной к ней по контуру верхней и боковых граней отражателя с зазором относительно них с охватом расположенной в сторону центральной оси трубы поверхности отражателя полимерной пленки 9 с возможностью беспрепятственного отклонения отражателя на склонах и возвращения его в первоначальное положение на выравненных участках поля, то при отклонении на склонах отражателей от внутренних стенок трубы семена не попадают в образовавшуюся между ними полость, что обеспечивает равномерность распределения семян по сошникам как на склонах, так и на выравненных участках поля.

**Заключение**

На основании проведенных патентных исследований предложена оригинальная конструкция оригинальная конструкция распределительной головки пневматической зерновой сеялки, где за счет использования отражателей перед распределителем происходит равномерное распределение семян по сошникам с учетом центробежной силы на коленообразном патрубке при любом поперечном и продольном наклоне сеялки на склонах.

Список использованных источников

1. К вопросу обоснования геометрических параметров распределительной головки высевающего аппарата туковой сеялки / Н.Н. Романюк [и др.] // Вестник ТГТУ. – 2022. – Т. 28. – doi: 10.17277/vestnik.2022.02. Pp. 328–338.

2. Development of the Design and Justification of the Parameters of the Distribution Head of the Pneumatic Fertilizer Seeder / V.N. Ednach, N.N. Romanyuk, V.A. Ageichik, et al. // Overview of the II International Scientific Conference – CAMSTech-II 2021: Advances in Material Science and Technologies on 29-31 July 2021 // AIP Conf. Proc. 2467, 030009-1–030009-7; https://doi.org/10.1063/5.0092820.

3. Распределительная головка пневматической зерновой сеялки : патент на полезную модель 211107 C1 Российской Федерации, МПК A01C 7/04 ; A01C 15/04 / И.П. Трояновская (RU); Е.С. Кириченко (RU); Н.Н. Романюк (BY); В.А. Агейчик (BY); К.В. Гильдюк (BY); С.А. Войнаш (RU); А.А. Ореховская (RU); заявитель ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ (RU).– № 2021135613 ; заявл. 02.12.2021 ; опубл. 23.05.2022 // Федеральная служба по интеллектуальной собственности. – 2022. Бюл. №15.

**Abstract.** The article proposes an original design of the distribution head of a pneumatic grain seeder, which is able to ensure the uniformity of the distribution of seeds on coulters both on slopes and on leveled areas of the field.

УДК 631.372:629.114.2

**Сурин Р.О.,** аспирант;
**Щитов С.В.,** доктор технических наук, профессор;
**Кузнецов Е.Е.,** доктор технических наук, доцент;
**Поликутина Е.С.,** кандидат технических наук
*ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет»*
*г. Благовещенск, Российская Федерация.*

# К ВОПРОСУ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМБИНИРОВАННОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МАШИНЫ НА ПОЛЕВЫХ РАБОТАХ

***Аннотация.*** *В статье предложена конструкция и обосновано применение фронтального прокалывателя-щелереза, предназначенного для использования в сельском хозяйстве зон рискованного земледелия для обработки почвы, в целях улучшения водопроницаемости, снижения эффекта переуплотнения почв и формирования плужной подошвы, сохранения плодородия и увеличения урожайности сельскохозяйственных культур.*

Современный уровень средств механизации агропромышленного комплекса Дальневосточного Федерального округа характеризуется

высокой численностью колёсных тракторов полурамной компоновочной схемы, используемых в современном сельском хозяйстве [1].

В тоже время обеспеченность новой сельскохозяйственной техникой в Амурской области остается низкой и спрос на неё ежегодно растёт в связи с выбытием средств тракторов и сельскохозяйственных машин по срокам эксплуатации. Возросшая нагрузка, в соотношении обрабатываемых гектаров пашни на один трактор, компенсируется приобретением тяжелых колёсных тракторов больших тяговых классов 5-8, которые, в свою очередь, оказывают значительное огромное техногенное воздействие на почву, негативно влияющее на её плодородие.

Владея рядом преимуществ, в сравнении с гусеничными тракторами, такими как надёжность, работоспосоность, ремонтопригодность и долговечность ходовой системы, возможность движения по общественным дорогам с усовершенствованным покрытием, высокая удельная мощность, они обладают и недостатками, такими как большое удельное давление движителей на почву, а значительное буксование при проведении полевых работ приводит к переуплотнению и изменениям физико-механических свойств верхнего плодородного слоя, формированию плужной подошвы, что влечёт как снижение урожайности, так и повышение деградационных и эрозионных проявлений [2,5].

Таким образом при работе колёсных тракторов высокой массы возникает необходимость снижения техногенного влияния их ходовых систем на почвы при проведении работ, что особенно актуально в период переувлажнения, в Амурской области выпадающего на позднюю весну, когда проходит этап выполнения основных полевых работ в сельском хозяйстве региона.

Значительного результата позволяет добиться снижение количества прохода сельскохозяйственных машин, агрегатированных этими типами тракторов по почвенной поверхности.

Таким образом, мощностные характеристики современных тракторов и количество нереализованной мощности, к примеру при выполнении операции посева, позволяет применить к трактору критерий совместимости операций, что позволит за один проход трактора провести несколько смежных операций.

Учитывая природно-климатические условия области наиболее значимым является включения в перечень необходимых ежегодных полевых операций основной обработки почвы операции

щелевания, дозволяющей отвести подпочвенную влагу в более глубокие почвенные слои.

В ходе патентного поиска, базируясь на анализе исследований авторов [1,3,4,7] была предложена конструкция фронтального прокалывателя-щелереза по патенту РФ № 2754595. Принципиальная схема предлагаемого устройства представлена на рисунках 1, 2 и 3.

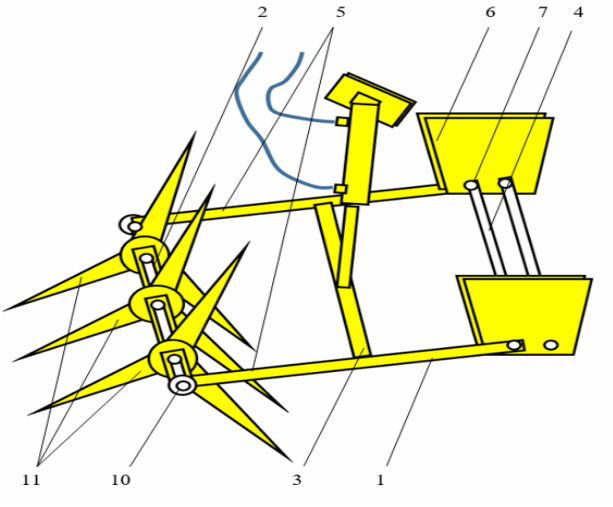



Рисунок 1 – Принципиальная схема фронтального прокалывателя-щелереза

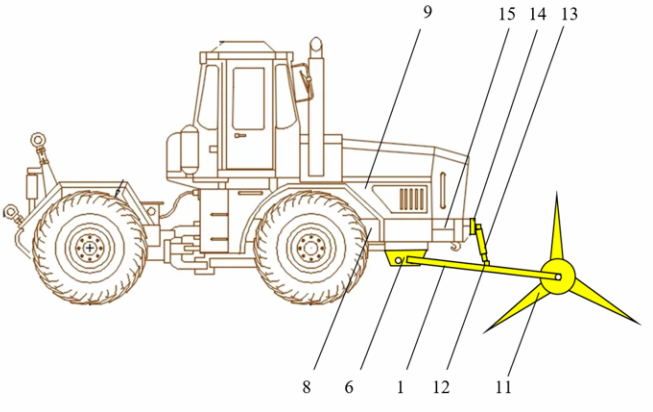



Рисунок 2 – Профильный вид колёсного полурамного трактора с установленным фронтальным прокалывателем-щелерезом

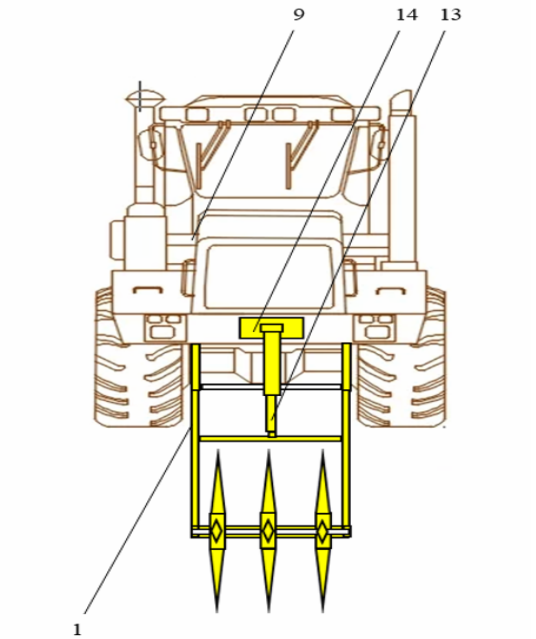



Рисунок 3 – Фронтальный вид колёсного полурамного трактора с установленным фронтальным прокалывателем-щелерезом

Устройство работает следующим образом:

При въезде на поле, оператор трактора 9 при помощи нагружающего гидроцилиндра 13 опускает пространственную раму 1 фронтального прокалывателя-щелереза на почвенную поверхность и производит заглубление лучеобразных прокалывающих рабочих органов 11, при этом происходит перераспределение части веса трактора на рабочие органы 11. Далее, в движении, происходит кручение передней фронтальной поперечной трубчатой тяги 2 с лучеобразными прокалывающими рабочими органами 11 в подшипниковых узлах 10, пассивное заглубление органов 11 на глубину, соответствующую длине луча рабочего органа 11 и проворачивание в почвенном слое, что производит операцию прорезания почвенного слоя, его щелевания, разуплотнения и крошения. При чём глубину обработки также можно регулировать увеличением силовой нагрузки, сообщаемой нагружающим гидроцилиндром 13.

При отсутствии необходимости в применении фронтального прокалывателя-щелереза оператором трактора 9 опускание пространственной рамы 1 фронтального прокалывателя-щелереза на почвенную поверхность и производит заглубление лучеобразных прокалывающих рабочих органов 11 не производится.

Конструктивные особенности лучеобразных разуплотняющих рабочих органов при перекатывании и заглублении формируют пунктирную воронкообразную линию разреза почвенного пласта, что позволит отводить лишнюю влагу из прилегающих к разрезу слоёв и увеличить её запасы в подпочвенном слое, таким образом улучшая условия жизнедеятельности растений и повышая их урожайность.

Проведенные ранее исследования [2,5] позволили обосновать перспективные направления научной работы посредством перераспределения сцепного веса в ходовой системе трактора и использования устройств поступательного движения агрегата.

Обоснование воздействия динамических параметров фронтального прокалывателя-щелереза на конструкцию трактора при прямолинейном движении дано в работе [6], вместе с тем определённый теоретический интерес представляет рассмотрение работы трактора с установленным фронтальным прокалывателем-щелерезом в условиях работы на пахотных землях Амурской области.

Рассмотрим условия распределения тяговых характеристик трактора при работе фронтального прокалывателя-щелереза.

При движении по полю колёсный трактор развивает касательную силу тяги $P_к$, которая в общем случае распределяется следующим образом:

$$P_к = P_{кр} + P_f, \qquad (1)$$

где $P_{кр}$ – тяговое усилие трактора, кН; $P_f$ - сила сопротивления агрегата движению энергетического средства, кН.

При работе фронтального прокалывателя-щелереза сила сопротивления агрегата $P_f$ будет равна сумме сопротивлений агрегатируемых с трактором машин (орудий). В нашем случае:

$$P_f = P_щ + P_{пм}, \qquad (2)$$

где $P_щ$ – сопротивление щелевателя, кН Рпм- сопротивление посевной машины, кН.

Таким образом, анализ формулы (2) позволяет предположить, что уменьшение тягового сопротивление щелевателя позволит увеличить касательную силу тяги трактора $P_к$.

К повышению качества предпосевной обработки почвы комбинированным посевно-разуплотняющим агрегатом будут предъявляются следующие требования:

- глубина щели обязана быть – до 0,40 м с возможным отклонением ± 0,05 м;
- ширина щели допускается – 0,025...0,05 м;
- расстояние меж щелями не более – 1,4 м (при влажности почвы не выше 24 %)
- качество сформированной щели обязано быть таким, чтоб стены щелей обеспечивали хорошее впитывание влаги, а вспушенность поверхности поля от прохода ножей-щелерезов не препятствовала бы потом работе сенокосилок.

Таким образом с наименьшими затратами мощности трактора будет выполняться операция щелевания, что при применении устройства в составе комбинированного агрегата с посевным комплексом, дозволит решить задачу, как отвода излишков влаги, так и создания более благоприятных условий для развития посевного материала в более короткие сроки после высева, а следовательно, уменьшить сроки достижения технической спелости культур и увеличение их валового сбора, что говорит о его эффективности и необходимости дальнейшего исследования в целях опытного и производственного внедрения.

Список использованных источников

1. Алдошин Н.В., Пехутов А.С. Повышение производительности при перевозке сельскохозяйственных грузов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2012. – № 4. – С. 26–27.

2. Беляев В.И., Вольнов В.В. Ресурсосберегающие технологии возделывания зерновых культур в Алтайском крае. М.: Барнаул: Алт.ГАУ, 2010. – С. 178.

3. Кузнецов Е.Е., Щитов С.В., Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур: Монография. ДальГАУ-Благовещенск, 2017. – С. 272.

4. Скурятин Н.Ф., Соловьев Е.В., Соловьёв С.В., Бондарев А.В. Методы оптимизации конструктивных и эксплуатационных параметров тракторных транспортно-технологических агрегатов: монография. Москва; Белгород: ООО «Издательско-книготорговый центр Колосс», 2020. – С.129.

5. Сурин Р.О. Перспективные конструктивные схемы сельскохозяйственных машин для проведения полевой обработки почвы/ Р.О.Сурин [и др.] // 65-я Международная научная конференция Евразийского Научного Объединения ISSN 2411-1899 Теоретические и практические вопросы современной науки / Сборник научных работ 65-й Международной научной конференции Евразийского Научного Объединения (г. Москва, июль 2020). – № 7(65). – Москва: ЕНО, 2020. – С. 117–120.

6. Сурин Р.О., Кузнецов Е.Е., Щитов С.В., Бурмага А.В., Козлова Л.В. Влияние установки прокалывателя-щелевателя на распределение нормальных реакций почвы и нагрузки на движители полурамного трактора [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – № 2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/2/st_217.pdf.

7. Щитов, С.В. Перераспределение сцепного веса в составе машинно-тракторного агрегата при проведении предпосевной обработки/ С.В. Щитов [и др.] // Дальневосточный аграрный вестник. – 2017. – № 1 (41). – С. 88–95.

УДК 631.41

**Яковлев Д.А.,** кандидат технических наук,
**Анфимов В.В.**
*ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет», г. Барнаул, Российская Федерация*

# ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ КОНДУКТОМЕТРИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АНАЛИЗА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ

***Аннотация.*** *В данной статье описаны основные физико-химические свойства почвы. Рассмотрены методы определения*

*основных свойств почвы. Обоснована значимость методов кондуктометрии почв при определении свойств почвы для нужд сельского хозяйства.*

## Введение

В современном сельском хозяйстве все больше внимания уделяется контролю состояния почв, что крайне необходимо при прогнозировании урожайности, потенциал которой в свою очередь определяется комплексом факторов, влияющим на рост и развитие растений. В соответствие с этим, является необходимым осуществлять контроль основных физико-химических свойств почвы, а также изыскивать современные инновационные методы их определения [1].

Поэтому целью данного исследования является определение наиболее перспективных методов анализа физико-химических свойств почвы, в ходе которого необходимо решить следующие задачи:

1. Определить основные физико-химические свойства почвы;
2. Провести анализ существующих методов определения физико-химических свойств почвы;
3. Обосновать перспективность применения методов кондуктометрии при анализе физико-химических свойств почвы.

## Основная часть

Многие процессы, происходящие в почвах, определяются физико-химическими свойствами. Основными физическими характеристиками почвы являются масса, плотность, скважность и влажность [2].

Плотность почвы играет важную роль в газообмене веществ и подвижности влаги для развития корневой системы.

Плотность почвы – это масса почвы в единице объема. Выражается в граммах на см$^2$. Она зависит от характера слагающих почв минералов, гранулометрического состава и содержание органических веществ.

Скважность почвы – это суммарный полный объём всех пор и промежутков между частицами твердой фазы почвы определенного объема. Выражается в процентах от общего объёма почвы. С скважностью связаны важнейшие свойства почвы: газообмен веществ между атмосферой и почвой и влажность.

Влажность почвы – является важнейшей характеристикой почвы, и выражает отношение количества влаги в почве к сухому грунту.

Основными химическими элементами почвы являются азот, фосфор и калий.

Азот (N) является наиболее важным минеральным химическим элементом. В чистом виде азота в природе нет и поэтому в почве находятся его соединения — это нитраты (NO3), которые играют большую роль для растений. Самыми распространенными из них являются нитраты Ca, Mg, Ba. Главным источником азота является атмосфера. Основная масса азота в почве находится в органических соединениях растительных остатков.

Фосфор (P) в основном находится в естественных фосфатах, а также в породах с фосфорсодержащими минералами. Минеральные формы фосфора в почвах преобладает над органическими. Соединения фосфора труднорастворимы.

Содержания калия (K) в почвах выше, чем остальных химических веществ. Калием богаты почвы в засушливых областях. Также калия много в тяжелых почвах таких, ка глинистые слои. В почвах калий находится в различных состояниях: водорастворимом, обменном и необменном, что определяет обеспеченность им растений.

Также к химическим свойствам почвы относится кислотность. Кислотность или Ph почвы – биохимический показатель, который характеризует ее способность проявлять (нейтрализовать) свойства кислот. В процессе обмена ионов водорода с почвенными минералами и органическими веществами в плодородном слое образуются кислоты и основания (щелочи). Ph указывает на их баланс в почвенном растворе, обозначают его числами от 1 до 14.

При определении влажности почвы ее выражают в % от массы абсолютно сухой почвы. Чаще всего используют термостатно-весовой метод, который заключается во взятии проб с полей в определенных участках почвы. Затем данные пробы взвешиваются, высушиваются и снова производиться взвешивание. Сушку проб производят в электрошкафах, сушильных шкафах или термостатах.

Кислотность почв определяют в лаборатории по следующему принципу:

- создается суспензия, состоящая из почвенной пробы и дистиллированной водой;
- вся суспензия объёмом 15–20 см$^3$, сливается в химический стакан вместимостью 50 см$^3$;

- производится настройка портативного pH-метра, т.е. его калибровка по трем буферным растворам с pH 4,01, 6,86 и 9,18;
- показание считывают не ранее чем через 1,5 минуту после погружения электродов;
- после проведения измерений полученные результаты систематизируют.

Во время измерения периодически проверяется настройка измерительного прибора по буферному раствору с pH 6,86 [4].

Температуру почвы измеряют на специальных участках, где нет растительности и там, где почва взрыхленная. Существует лабораторные термометры Савинова. Их устанавливают на глубине 5, 10, 16 и 20 см. в специальных заранее сделанных скважинах в почве. Каждый термометр должен быть наклонены под углом 45 градусов относительно почвы.

Данные методы являются по-прежнему объективными и актуальными, но в условиях современного сельского хозяйства на смену им приходят менее трудозатратные. Например, цифровые приборы работающие на основе метода кондуктометрии.

Кондуктометрия – это совокупность электрохимических методов анализа, основанных на измерении электропроводности (или сопротивления) растворов электролитов. Существует три метода кондуктометрии: прямая кондуктометрия, кондуктометрическое титрование, высокочастотная кондуктометрия.

Прямая кондуктометрия – метод, основанный на существовании прямолинейной зависимости между удельной электропроводностью и концентрацией.

Поскольку электропроводность раствора является величиной аддитивной, то прямая кондуктометрия проводится только в тех случаях, когда достаточно знать общую концентрацию ионов в растворе, например, при контроле качества воды, определении общего содержания солей в природных водах.

Кондуктометрическое титрование метод анализа, основанный на измерении изменения электропроводности раствора в зависимости от количества добавляемого титранта. Чаще всего при кондуктометрическом титровании применяют протолитические реакции, реже всего – окислительно-восстановительные. Кондуктометрическое титрование можно использовать в случаях, когда трудно визуально определить конечную точку титрования, например, при ана-

лизе мутных и окрашенных растворов. Кислотно-основное кондуктометрическое титрование особенно эффективно при анализе сильно разбавленных растворов кислот и оснований, смесей сильных и слабых кислот, сильных и слабых оснований.

В высокочастотной кондуктометрии (осциллометрии), применяемой обычно в виде высокочастотного титрования, используется электрический ток высокой частоты. Электроды в ячейках для высокочастотного титрования не контактируют с анализируемым раствором. Высокочастотное титрование проводят в водных и неводных растворах (ледяная уксусная кислота, диметилформамид, смеси ацетон-вода, диоксан-вода и др.). Например, в ледяной уксусной кислоте можно определить хлорную кислоту в присутствии азотной кислоты, а также алкалоиды, антибиотики и другие лекарственные вещества. Кондуктометрия в полной мере связана с электропроводность.

Электропроводность определяет, насколько хорошо вещество можно передавать электрический ток. Мелкие заряженные частицы, называемые ионами, помогают переносить электрический заряд через вещество. Ионы могут быть положительными или отрицательно заряжены. Чем больше этих частиц, тем выше проводимость или наоборот меньшее количество ионов приведет к снижению проводимости. Электропроводность – Ω является величиной обратной общему электросопротивлению R рассматриваемого участка почвы. Эта величина $\Omega = \frac{1}{R}$ измеряется в обратных омах или по-другому в миллисимесов на сантиметр (МСм/см). Чаше всего при измерении и расчетах используют удельную электропроводность [3].

Электрическая проводимость имеет широкий спектр значений в диапазоне от 10-16 (изолятор или диэлектрик) до 108 (проводник) сименс-метр (С/м), которые вряд ли будут сопоставимы для других параметров в физике. Насыщенные почвы содержат номинальное значение электропроводности приблизительно от 0,01 до 1,0 (С/м), тогда как типичное значение электропроводности для сухих почв колеблется от 10-7 до 10-1 (С/м), измеренное на частоте 100 МГц. Однако электропроводность сухих почв может быть менее 10–14 (С/м) из-за чрезвычайно низкой подвижности ионов.

На основе данного метода существуют некоторые приборы.

Термометры, измеряющие температуру почвы или иных материалов и сред.

Ph-метр – прибор для измерения водородного показателя характеризующего активность ионов водорода. Измерительная схема представляет собой вольтметр, проградуированный непосредственно в единицах Ph для конкретной электродной системы. Приборы Ph-метры имеют широкое применение в научно-исследовательской практике химиков, микробиологов и почвоведов, агрохимиков, в лабораториях стационарных и передвижных, в том числе полевых.

Влагомер почвы, измеряющий содержание влаги в процентном отношении ко всей массе твердого вещества. Типовой влагомер почвы представляет собой портативный прибор, от которого отходит погружной датчик. Механические устройства обычно служат для анализа почвы для небольших участков, в то время как в крупных масштабах наиболее удобны цифровые измерители влажности почвы.

**Заключение**

Перспективность применения приборов, работающих на основе методов кондуктометрии, обосновывается их мобильностью и простотой в эксплуатации. Данный факт является очень значимым при определении почвенных свойств. Проведение такого рода анализа физико-химических свойств почвы особенно перспективно в рамках создания карт плодородия почв и карт для дифференцированного внесения семян и удобрений. В ближайшей перспективе данная методика, несомненно, получит стремительное развитие.

Список использованных источников

1. Анфимов В.В. Методы кондуктометрии при создании карт для дифференцированного внесения / В.В. Анфимов, Д.А. Яковлев, А.В. Пчельников. – Матер. Всеросс. (нац.) науч.-практ. конф. «Обеспечение устойчивого и биобезопасного развития АПК». – Нальчик: Кабардино-Балкарский ГАУ, 2022. – 232–237 с.

2. Головатый С.Е. Физика и химия почв: учеб. пособие / С.Е. Головатый, О.В. Чистик, С.В. Савченко. – Мн.: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2005. – 140 с.

3. Бычкова Т.В. К вопросу расчета удельной электропроводности почвы в модели сплошной однородной слабопроводящей среды / Т.В. Бычкова, Г.В. Гурьянов, Д.А. Безик. – Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии, 2017. №4 (62) – 57–63 с.

4. Жебентяев А.И. Электрохимические методы анализа: учеб. пособие / А.И. Жебентяев, А.К. Жерносек, И.Е. Талуть. – М: УО Витебский государственный медицинский университет, 2015. – 105 с.

**Abstract:** This article describes the main physical and chemical properties of the soil. Methods for determining the basic properties of the soil are considered. The significance of soil conductometry methods in determining soil properties for agricultural needs is substantiated.

УДК 631. 372

**Орда А.Н.**, доктор технических наук, профессор;
**Шкляревич В.А.**
*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

# ПОВЫШЕНИЕ ПРИСПОСОБЛЯЕМОСТИ ГУСЕНИЧНОГО ДВИЖИТЕЛЯ К ПОЧВЕННЫМ УСЛОВИЯМ ЭКСПЛУАТАЦИИ

***Аннотация**. На основании изучения взаимодействия элементов агротехнической системы «оператор – машинно-тракторный агрегат (МТА) – ходовая система МТА – почва» предложена конструкция гусеничного движителя, обеспечивающая повышение показателя приспособляемости гусеничной ходовой системы МТА к почвенным условиям эксплуатации и снижение ее уплотняющего воздействия на почву.*

Одним из основных критериев оценки совершенства конструкции ходовых систем МТА является их влияние на важнейший элемент агроэкосистемы – почву, которая при возделывании сельско-

хозяйственных культур многократно подвергается технологическим воздействиям. Вследствие воздействия ходовых систем мобильной сельскохозяйственной техники на структурную, прошедшую обработку, почву ее состояние как элемента агроэкосистемы становится менее устойчивым, чем в естественной экосистеме. Устойчивость в данном случае характеризуется тем, как агроэкосистема самопроизвольно возвращается в первоначальное состояние, будучи из него выведенным такими внешними воздействиями, как уплотнение почвы ходовыми системами МТА [1].

В свою очередь машинно-тракторный агрегат представляет собой агротехническую систему, применительно к которой рассматриваются следующие системные взаимодействия: оператор (человек, механизатор) – МТА – ходовая система МТА – почва.

Для анализа взаимодействий элементов рассматриваемой агротехнической системы применим информационный подход. Функционирование МТА обеспечивается за счет поступающей извне энергии и информации. При этом происходит процесс обмена информацией между элементами этой агротехнической системы. Для упорядочения и организации информационного взаимодействия между элементами системы применяется управление. В системах, оказавшихся в условиях неорганизованных взаимодействий со средой, без восполнения энергетических и информационных ресурсов возрастает неупорядоченность и снижается эффективность их функционирования [2].

Применительно к агротехнической системе неорганизованное взаимодействие ее элементов со средой проявляется в переуплотнении и ухудшении физико-механических и биологических свойств почвы ходовыми системами МТА. Из исследований [1] следует, что при воздействии ходовых систем на почву энтропия процесса $E$ взаимодействия элементов подсистемы «ходовая система – почва» начинает расти. Из исследований [3] известно, что

$$J + E = \text{const}, \qquad (1)$$

где $J$ – количество информации, бит; $E$ – энтропия, бит.

Из изложенного следует, что введение в систему определенного количества информации способствует снижению энтропии, для чего машинно-тракторный следует «насыщать информацией», т. е. выбирать режимы работы, конструктивные параметры и компонов-

ку ходовой системы, обеспечивающие их допустимый уровень воздействия на почву, управлять ими, применять конструкции и приспособления для снижения уплотнения почвы.

Управляемая агротехническая система должна быть организованной и упорядоченной. В качестве меры упорядоченности системы принимается степень отклонения ее состояния от термодинамического равновесия [4, с. 181]:

$$R = 1 - \frac{E}{E_{\max}}, \qquad (2)$$

где $R$ – мера упорядоченности системы; $E_{\max}$ – максимальное значение энтропии.

С помощью формулы (2) мера упорядоченности системы оценивается в пределах от 0 до 1. Нижнее значение меры упорядоченности будет иметь система, находящаяся в полном беспорядке, верхнее – идеально упорядоченная система.

Найдем меру упорядоченности агротехнической подсистемы «ходовая система МТА – почва». Мера упорядоченности рассматриваемой подсистемы при движении ходовой системы МТА по связной почве с одинаковыми по глубине физико-механическими свойствами (стерне) согласно зависимости (2) [4, с. 181]:

$$R = 1 - \frac{\ln\left[\mathrm{ch}\left(\frac{k}{p_0}h\right)\right]}{\ln\left[\mathrm{ch}\left(\frac{k}{p_0}h_{\max}\right)\right]}, \qquad (3)$$

где $k$ – коэффициент объемного смятия почвы, Н/м$^3$; $p_0$ – предел несущей способности почвы, Па; $h$ – вертикальная деформация (осадка) почвы, м; $h_{\max}$ – деформация почвы, при которой энтропия достигает максимального значения, м.

Мера упорядоченности исследуемой подсистемы для случая взаимодействия ходовой системы с почвой, подготовленной под посев, согласно зависимости (2) определяется по формуле [4, с. 181]:

$$R = 1 - \frac{\ln\left[\cos\left(\frac{\pi}{2h_{\text{упл}}}h\right)\right]}{\ln\left[\cos\left(\frac{\pi}{2h_{\text{упл}}}h_{\max}\right)\right]}. \qquad (4)$$

Мера упорядоченности подсистемы «ходовая система МТА – почва» может служить в качестве *показателя приспособляемости* МТА к почвенным условиям эксплуатации.

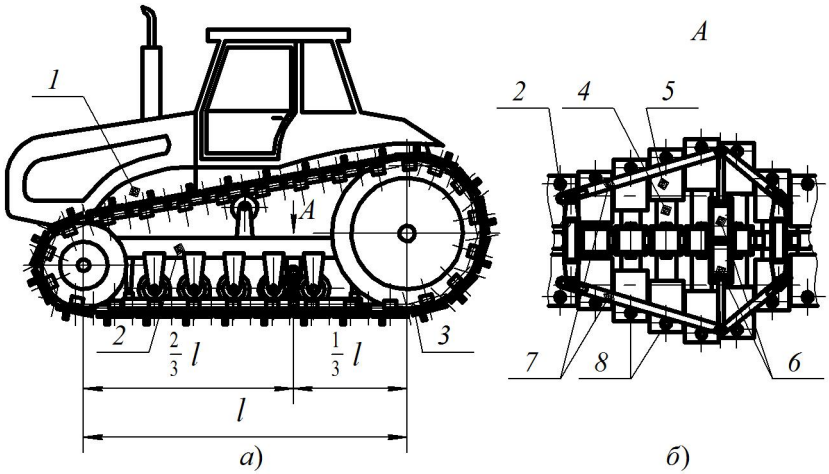
Важное значение для улучшения приспособляемости ходовой системы к почве имеет совершенствование подсистем «оператор – машинно-тракторный агрегат», «оператор – ходовая система МТА» и «оператор – почва». Применительно к решению задачи по улучшению приспособляемости ходовых систем к почвенным условиям эксплуатации важно оценить степень влияния оператора на возможность управления режимами работы машинно-тракторного агрегата, переналадки и регулировки его систем, в том числе конструктивных параметров ходовой системы, при изменении почвенных условий.

Предложенные зависимости (3) и (4) по расчету показателя приспособляемости машинно-тракторного агрегата к почвенным условиям эксплуатации позволяют дать оценку различным приспособлениям, повышающим их проходимость и снижающим уплотняющее воздействие на почву.

На основании изложенного предложена конструкция гусеничной ходовой системы МТА, подтвержденная патентом на изобретение, позволяющая эксплуатировать МТА на переувлажненных почвах или почвах обладающих низкой несущей способностью. Основная суть предложенной конструкции сводится, как правило, к одному решению – управление и регулирование конструктивными параметрами гусеничной ходовой системы МТА, обеспечивающее снижение уплотняющего воздействия на почву.

Так, повысить проходимость и снизить уплотняющее воздействие на почву гусеничного трактора, входящего в состав МТА, можно использованием конструкции [5], в которой корпус гусеничного трактора *1* размещен между двумя ходовыми гусеничными тележками *2*, охваченными гусеничными цепями *3*. Цепь *3* состоит из

звеньев *4* с уширителями *5*, которые размещены по обе стороны каждого звена *4* симметрично продольной оси гусеничной цепи *3* (рисунок).




*а* – гусеничный трактор; *б* – гусеничный движитель (вид сверху)
*1* – корпус гусеничного трактора; *2* – ходовая тележка; *3* – гусеничная цепь; *4* – звенья гусеницы; *5* – уширители; *6* – гидроцилиндры; *7* – направляющие; *8* – ролики
Рисунок – Гусеничный трактор, входящий в состав МТА [5]

Каждый уширитель *5* выполнен полым, внутри полостей установлены пружины, работающие на растяжение. Между уширителями *5* и звеньями *4* вмонтированы уплотнители, препятствующие проникновению влаги и почвы во внутреннюю полость уширителя *5* при его поступательном перемещении относительно звена *4*. В задней части каждой из ходовых тележек *2* на одной трети межосевого расстояния от заднего колеса (согласно эпюры распределения нормальных напряжений в почве под гусеницей) установлены гидроцилиндры *6*, связанные с гидросистемой трактора, которые своими штоками шарнирно соединены с концами продольных направляющих *7*. Продольные направляющие *7* соединяются с тележками *2* с помощью скользящих шарниров и контактируют с роликами *8*, установленными на уширителях *5*.

При движении трактора по грунтам и почвам с высокой несущей способностью механизатор, управляя гидросистемой, сообщает полости гидроцилиндров *6* со сливной магистралью. Под воздействием пружин растяжения уширители *5* сдвигаются к продольной оси симметрии гусеничной цепи *3* и посредством роликов *8* через направляющие *7* воздействуют на штоки, перемещая их внутрь гидроцилиндров *6*.

При движении по грунтам с низкой несущей способностью, на которых происходит нарастание осадки по длине опорной поверхности движителя, механизатор, управляя гидросистемой, сообщает полости гидроцилиндров *6* с магистралью, находящейся под давлением, выдвигая тем самым их штоки наружу. Штоки воздействуют на направляющие *7*, последние в свою очередь через ролики *8* выдвигают уширители *5* в сторону от продольной оси симметрии гусеницы *3*. При этом на максимальную величину наружу выдвигаются те уширители *5*, ролики *8* которых оказываются напротив выдвинутых штоков гидроцилиндров *6*. Благодаря этому не происходит нарастания глубины следа, а также повышается сцепление гусеничного дввижителя с почвой.

Предложенная конструкция гусеничного движителя позволяет повысить показатель приспособляемости ходовой системы МТА к почвенным условиям эксплуатации согласно зависимостям (3) и (4) в 1,5…2 раза [6], а также снизить уплотняющее воздействие на почву.

Список использованных источников

1. Чигарев, Ю.В. Математические основы механики почв / Ю.В. Чигарев, П.Н. Синкевич. – Минск : УП «Технопринт», 2004. – 164 с.

2. Игнатьев, М.В. Моделирование системы машин / М.В. Игнатьев, Б.З. Ильевский, Л.П. Клаус. – Л. : Машиностроение, 1986. – 304 с.

3. Волькенштейн, М.В. Биофизика / М.В. Волькенштейн. – М. : Наука, 1981. – 576 с.

4. Орда, А.Н. Эколого-энергетические основы формирования машинно-тракторных агрегатов : дис. … д-ра техн. наук : 05.20.03 / А.Н. Орда ; Бел. агр. техн. ун-т. – Минск, 1997. – 269 с.

5. Гусеничный трактор : пат. 21044 Респ. Беларусь, МПК B 62D 55/08 / А.Н. Орда, В.А. Агейчик, В.А. Шкляревич, И.А. Тарасевич, А.С. Воробей ; заявитель Бел. гос. агр. техн. ун-т. – № а 20130338; заявл. 18.03.13 ; опубл. 30.06.17 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2017. – № 3. – С. 86–87.

6. Приспособляемость ходовых систем почвообрабатывающих агрегатов к почвенным условиям эксплуатации / А.Н. Орда, В.А. Шкляревич, А.С. Воробей // Агропанорама. – 2013. – № 5. – С. 9–12.

**Abstract**. Based on the study of the interaction of the elements of the agrotechnical system "operator – machine-tractor unit (MTU) – running system MTU – soil," the design of the caterpillar propulsor is proposed, which increases the adaptability of the caterpillar running system MTU to soil operating conditions and reduces its compacting effect on the soil.

УДК 631. 372

**Орда А.Н.**, доктор технических наук, профессор;
**Шкляревич В.А.**
*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

## УПЛОТНЯЮЩЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ХОДОВЫХ СИСТЕМ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ НА ПОЧВУ

***Аннотация**. При тяговом расчете машинно-тракторного агрегата (МТА) получены зависимости, которые позволяют определить нормальные реакции почвы на движители колесного трактора в зависимости от динамических нагрузок, действующих на МТА, а также его конструктивных и технологических параметров.*

Большинство технологических операций возделывания сельскохозяйственных культур выполняются машинно-тракторными агрегатами, в состав которых входит трактор и сельскохозяйственная машина. И именно под воздействием ходовых систем тракторов, предназначенных для реализации тягово-сцепных свойств через их

взаимодействие с опорным основанием, происходит чрезмерное уплотнение почвы, которое отрицательно сказывается на ее плодородии и приводит к росту затрат на производство продукции растениеводства.

Для того, чтобы определить динамические нагрузки, возникающие при взаимодействии ходовых систем и рабочих органов машинно-тракторных агрегатов с почвой и определяющие уплотняющее воздействие на почву, произведем тяговый расчет МТА, в состав которого входит трактор и сельскохозяйственная машина (рисунки 1 и 2). Рассмотрим общий случай установившегося прямолинейного движения машинно-тракторного агрегата по горизонтальной поверхности поля, при котором силы инерции его движущихся масс и горизонтальные составляющие силы тяжести трактора и сельскохозяйственной машины равны нулю. Силы сопротивления остова трактора в ступицах его движителей, трения между элементами гусеничного движителя, сопротивления воздуха лобовой поверхности трактора, вследствие их малых значений, при расчетах также не учитываем.

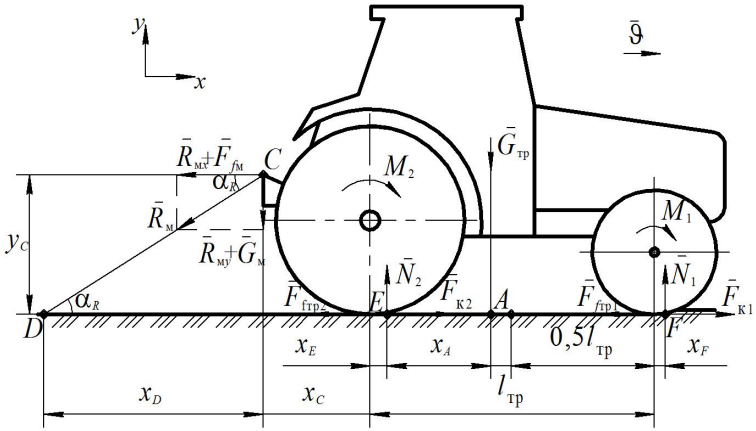



Рисунок 1 – Схема сил, действующих на машинно-тракторный агрегат, в состав которого входит колесный трактор и навесная сельскохозяйственная машина

Касательная сила тяги развиваемая движителем трактора $F_к$ – равнодействующая реакций почвы, которая образуется в пятне контакта движителя с почвой и направлена параллельно вектору скорости поступательного движения трактора $\bar{\vartheta}$ в сторону этого

движения. Касательная сила тяги создает ведущий момент, необходимый для передвижения машинно-тракторного агрегата по поверхности поля, преодолевает тяговое сопротивление $R_м$, агрегатируемой с трактором сельскохозяйственной машины, и сопротивление качению движителей МТА.

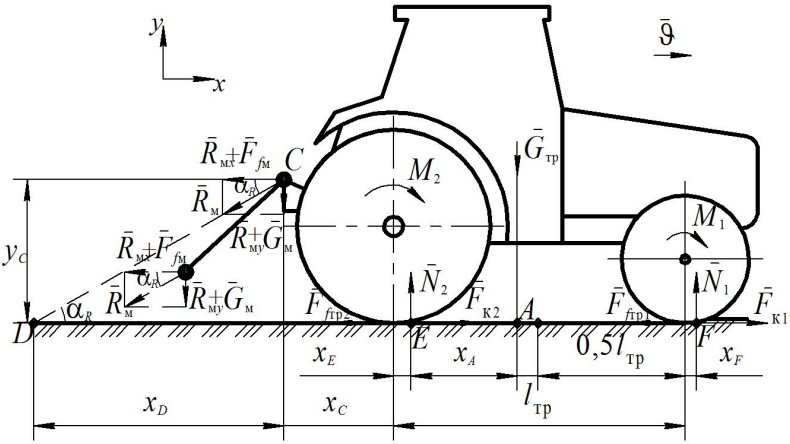



Рисунок 2 – Схема сил, действующих на машинно-тракторный агрегат, в состав которого входит колесный трактор и прицепная сельскохозяйственная машина

Текущее значение касательной силы тяги определяется по формуле [1, 2]:

$$F_к = \varphi_{исп} N, \qquad (1)$$

где $\varphi_{исп}$ – коэффициент использования сцепного веса, $0 \le \varphi_{исп} \le \varphi_{сц}$; $N$ – вертикальная составляющая реакции почвы на движитель трактора, Н.

Предельное значение касательной силы тяги [1, 2]:

$$F_{к\ max} = \varphi_{сц} N, \qquad (2)$$

где $\varphi_{сц}$ – коэффициент сцепления движителя с почвой.

Значения коэффициента сцепления колесных тракторов в зависимости от состояния почвенного агрофона изменяются в пределах от 0,4 до 0,9, гусеничных – от 0,6 до 1,2 [1, 3].

Силы сопротивления качению трактора $F_{fтр}$ и сельскохозяйственной машины $F_{fм}$ обусловлены деформациями почвы под их

движителями, гистерезисными потерями в пневмошинах, потерями на трение при скольжении ведомых колес и направлены против вектора скорости поступательного движения машинно-тракторного агрегата. Их величины определяются по соответствующим формулам:

$$F_{f\text{тр}} = fG_{\text{тр}}, \tag{3}$$

где $f$ – коэффициент сопротивления качению; $G_{\text{тр}}$ – вес трактора, Н;

$$F_{f\text{м}} = fG_{\text{м}}, \tag{4}$$

где $G_{\text{м}}$ – вес сельскохозяйственной машины, Н.

Коэффициент сопротивления качению колесных движителей при их движении по поверхности поля принимает значения в пределах от 0,05 до 0,18 и от 0,05 до 0,12 – гусеничных [1, 2].

Агрегатируемая с трактором как навесная (рисунок 1), так и прицепная (рисунок 2) сельскохозяйственная машина оказывает результирующее тяговое сопротивление $R_{\text{м}}$, приложенное в точке $C$ механизма навески трактора и равное тяговому усилию на крюке трактора $F_{\text{кр}}$. Согласно векторному уравнению равновесия всех сил, действующих на машинно-тракторный агрегат и приведенных к точке $C$ механизма навески трактора, результирующее тяговое сопротивление $R_{\text{м}}$ равняется векторной сумме горизонтальной составляющей тягового сопротивления сельскохозяйственной машины $R_{\text{м}x}$, необходимой для выполнения технологической операции возделывания сельскохозяйственной культуры, силы сопротивления качению сельскохозяйственной машины $F_{f\text{м}}$, вертикальной составляющей тягового сопротивления сельскохозяйственной машины $R_{\text{м}y}$, включая нормальные реакции почвы на опорные колеса, и веса сельскохозяйственной машины $G_{\text{м}}$:

$$\begin{gathered} \sum \overline{F}_i = 0; \\ \overline{R}_{\text{м}} = \overline{R}_{\text{м}x} + \overline{F}_{f\text{м}} + \overline{R}_{\text{м}y} + \overline{G}_{\text{м}}. \end{gathered} \tag{5}$$

Два первых слагаемых векторного уравнения равновесия (5) оказывают сопротивление передвижению машинно-тракторного агрегата по поверхности поля, а третье и четвертое – создают дополнительную вертикальную нагрузку к весу трактора, увеличивая тем самым уплотняющее воздействие на почву ходовой системы трактора.

Запишем уравнения равновесия сил и моментов сил, действующих на машинно-тракторный агрегат при его взаимодействии с почвой, в состав которого входит колесный трактор со всеми ведущими колесами (индекс «1» для передних колес, «2» – задних) и навесная (рисунок 1) или прицепная (рисунок 2) сельскохозяйственная машина, в продольно-вертикальной плоскости к вектору скорости поступательного движения агрегата $\overline{\vartheta}$ с учетом описанных выше допущений.

$$\sum F_x = 0;$$
$$F_{к1} + F_{к2} = F_{fтр1} + F_{fтр2} + R_{мx} + F_{fм}; \qquad (6)$$
$$F_{к1} + F_{к2} = F_{fтр1} + F_{fтр2} + R_м \cos\alpha_R + F_{fм},$$

где $\cos\alpha_R = \dfrac{x_D}{y_C}$.

В том случае, если у колесного трактора ведущими являются только задние колеса, касательная сила тяги передних колес равна нулю, то есть $F_{к1}$=0.

$$\sum F_y = 0;$$
$$N_1 + N_2 = G_{тр} + G_м + R_{мy}; \qquad (7)$$
$$N_1 + N_2 = G_{тр} + G_м + R_м \sin\alpha_R,$$

где $\sin\alpha_R = \dfrac{y_C}{x_D}$.

Нормальная реакция почвы на колеса передней оси трактора $N_1$ определяется из уравнения моментов сил, действующих на МТА, относительно точки $E$ (рисунки 1 и 2):

$$\sum M_E(\overline{F}_i) = 0;$$
$$N_1(l_{тр} - x_E + x_F) + R_{мx} y_C + F_{fм} y_C + R_{мy}(x_C + x_E) + \qquad (8)$$
$$+ G_м(x_C + x_E) - G_{тр}(0,5 l_{тр} - x_A - x_E) = 0.$$

Откуда

$$N_1 = \frac{G_{\text{тр}}(0,5l_{\text{тр}} - x_A - x_E) - (R_{\text{м}}\cos\alpha_R + F_{f\text{м}})y_C}{(l_{\text{оп}} - x_E + x_F)} - \\ - \frac{(R_{\text{м}}\sin\alpha_R + G_{\text{м}})(x_C + x_E)}{(l_{\text{тр}} - x_E + x_F)}. \quad (9)$$

Нормальная реакция почвы на колеса задней оси трактора $N_2$ определяется из уравнения моментов сил, действующих на МТА, относительно точки $F$ (рисунки 1 и 2):

$$\sum M_F(\overline{F}_i) = 0;$$

$$-N_2(l_{\text{тр}} - x_E + x_F) + R_{\text{м}x}y_C + F_{f\text{м}}y_C + R_{\text{м}y}(l_{\text{тр}} + x_C + x_F) + \\ + G_{\text{м}}(l_{\text{тр}} + x_C + x_F) + G_{\text{тр}}(0,5l_{\text{тр}} + x_A + x_F) = 0. \quad (10)$$

Откуда

$$N_2 = \frac{G_{\text{тр}}(0,5l_{\text{тр}} + x_A + x_F) + (R_{\text{м}}\cos\alpha_R + F_{f\text{м}})y_C}{(l_{\text{тр}} - x_E + x_F)} + \\ + \frac{(R_{\text{м}}\sin\alpha_R + G_{\text{м}})(l_{\text{тр}} + x_C + x_F)}{(l_{\text{тр}} - x_E + x_F)}. \quad (11)$$

Полученное уравнение (6) устанавливает условия, необходимые для передвижения машинно-тракторного агрегата по поверхности поля, согласно которым проходимость и тягово-сцепные свойства МТА тем выше, чем больше величина касательной силы тяги $F_{\text{к}}$, развиваемая его движителями, и чем меньше величины горизонтальной составляющей тягового сопротивления сельскохозяйственной машины $R_{\text{м}x}$ и силы сопротивления качению движителей МТА. Регулировать величину горизонтальной составляющей тягового сопротивления сельскохозяйственной машины $R_{\text{м}x}$, согласно полученных уравнений, можно изменением угла наклона результирующего вектора тягового сопротивления $\overline{R}_{\text{м}}$ к горизонтали – $\alpha_R$.

Зависимости (7), (9) и (11), полученные при тяговом расчете машинно-тракторного агрегата, позволяют определить нормальные реакции почвы на движители колесного трактора в зависимости от динамических нагрузок, действующих на МТА ($G_{\text{тр}}$, $G_{\text{м}}$, $R_{\text{м}}$, $F_{f\text{м}}$), а также его конструктивных и технологических параметров (колес-

ная база трактора – $l_{оп}$; положение центра тяжести трактора – $x_A$; положение точки $C$ механизма навески трактора – $x_C$ и $y_C$). Значения нормальных реакций почвы на движители трактора определяют уплотняющее воздействие ходовых систем МТА на почву, влияют на тягово-сцепные свойства МТА.

Список использованных источников

1. Скотников, В.А. Проходимость машин / В.А. Скотников, А.В. Пономарев, А.В. Климанов. – Минск : Наука и техника, 1982. – 328 с.
2. Гуськов, А.В. Оптимизация потребительских свойств и параметров колесных тракторов семейства «Беларус»: монография / А.В. Гуськов ; под ред. д-ра техн. наук, проф. В.П. Бойкова. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2008. – 210 с.
3. Кутьков, Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства / Г. М. Кутьков. – М. : Колос, 2004. – 504 с.

**Abstract**. At traction calculation of machine-tractor unit (MTU) dependencies are obtained, which make it possible to determine normal soil reactions to wheel tractor propulsors depending on dynamic loads acting on MTU, as well as its structural and technological parameters.

УДК 637.116.2

**Еднач В.Н.[1],** кандидат технических наук, доцент;
**Жилич Е.Л.[2], Рогальская Ю.Н.[2]**
*[1]УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь,*
*[2]РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь,*

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К ОБОСНОВАНИЮ ВЕЛИЧИН ВАКУУММЕТРИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ В СУЩЕСТВУЮЩИХ ДОИЛЬНЫХ АППАРАТАХ

**Аннотация:** Уровень (сила) вакуума напрямую влияет на силу сжатия соска, то есть силу, с которой молоко «выжимается» из соска. Слишком высокий уровень вакуума может разрушать желези-

стую ткань вымени. Именно по этой причине происходит травма соска, отек вымени и развитие мастита.

## Введение

По международным стандартам ISO 5707 и ISO 6690, величина вакуумметрического давления, используемая в доильных аппаратах, должна быть в пределах от 32 до 42 кПа для обеспечения быстрого, полного и щадящего доения коров [1, 2]. Такой диапазон вакуумного давления позволяет снизить до минимума вредное воздействие вакуумметрического давление на сосок.

## Основная часть

Одним из главных вредных факторов при доении, безусловно, является травмирование внутренних тканей вымени, альвеол, микрокапилляров кровеносной системы из-за слишком сильного вакуума, используемого в доильных аппаратах. Именно поэтому автоматизация технологии производства молока невозможна без понимания физиологии и этологии животных, которая должна учитываться при реализации любого даже самого незначительного процесса.

Сильное влияние повышенного вакуумметрического давления проявляется на сосках коровы в основном по завершению истечения молока, так как при этом вакуумметрическое давление, которое действует на соски, увеличивается и оказывает воздействие на внутренние, в меньшей степени защищенные части сосков. Чтобы уберечь молочную железу коровы от пагубного воздействия вакуумметрического давления к конструкции современного доильного аппарата предъявляются технические, ветеринарные и физиологические требования, а именно: способность активизировать функцию вымени (спровоцировать выработку гормона окситоцина) перед доением и сохраненить ее в процессе доения; возможность сохранения состояния лактационной доминанты в процессе доения; необходимость обеспечить защиту молочной железы от негативнго воздействия вакуумметрического давления во время доения и после его завершения.

Пагубное воздействие вакуумметрического давления может проявляться на всех этапах доения.

Негативным и наиболее сильным проявлением вредного воздействия вакуума на вымя коровы является, так называемое «сухое доение», возникающее в конце молокоотдачи.

Помимо холостого доения в конце и начале молокоотдачи негативное влияние оказывает жесткий вакуум (более 50 кПа), используемый непосредственно в процессе доения, для удержания на сосках тяжелых металлических стаканов, что так же приводит к разрушению внутренних тканей вымени.

Некоторые производители предлагают линейку доильных аппаратов с регулируемой величиной вакуумметрического давления в начале и в конце молокоотдачи. Значения величин вакуумметрического давления в наиболее распространенных отечественных и зарубежных доильных аппаратах представлены в таблице 1.

Таблица 1. Значения величин вакуумметрического давления в отечественных и зарубежных доильных аппаратов

| Отечественные доильные аппараты | | Зарубежные доильные аппараты | |
|---|---|---|---|
| Марка | Величина вакуумметрического давления, кПа | Марка | Величина вакуумметрического давления, кПа |
| УПД-07.000 | 48±1 | StimoPuls V | 48 |
| АДУ-1-01 | 46-48 | AutoPuls | 48 |
| АДУ-1-02 | 51-53 | IS-100 | 50 |
| АДН-1 | 42±2 | IS-160 AT | 50 |
| АДС-1 | 50-52 | Duovac 300B | 32/50/32 |
| АДС-24 | 35/48 | Duovac HCC 150 | 38/46/38 |
| ПАД-00 | 33/50 | Monovac | 38/46/38 |

Помимо величины вакуумметрического давления также важна частота пульсаций и соотношение времени тактов.

## Заключение

Дальнейшему повышению производительности труда, увеличению производства молока, снижению его себестоимости и повышению рентабельности может способствовать внедрение в практику принципиально новых технологий и устройств для машинного доения, в которых за счет регулирования вакуумметрического давления в межстенной и подсосковой камерах можно добиться повышения физиологичности процесса доения.

Список использованных источников

1. ISO 5707. Milking machine installations – Construction and performance. – Geneva, Switzerland : The International for Standardization Organization. – 2007. – 52 p.

2. ISO 6690. Milking machine installations – Mechanical tests. – Geneva, Switzerland : The International for Standardization Organization. – 2007. – 46 p.

3. Передня, В.И. Технологии и оборудование для доения коров и первичной обработки молока: пос. / В.И. Передня, В.А. Шаршунов, А.В. Китун. – Минск : Минсанта. – 2016. – 975 с.

**Abstract.** The level (strength) of the vacuum directly affects the nipple compression force, that is, the force with which milk is «squeezed out» from the nipple. Too high a vacuum level can destroy the glandular tissue of the udder. It is for this reason that the nipple is injured, the udder edema and the development of mastitis.

УДК 637.116.2

**Еднач В.Н.[1],** кандидат технических наук, доцент;
**Жилич Е.Л.[2]; Рогальская Ю.Н.[2]**
*[1]УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь,*
*[2]РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь,*

## КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ДОИЛЬНОГО СТАКАНА

***Аннотация:*** *Современные доильные аппараты, используемые на молочно-товарных фермах и комплексах, не полностью отвечают физиологическим требованиям животных, поскольку для извлечения молока в них зачастую используется жесткий и нестабильный вакуум, поэтому такие аппараты вызывают болевое раздражение и могут стать причиной мастита. Следовательно, необходимо обоснованно подходить к выбору его конструкции.*

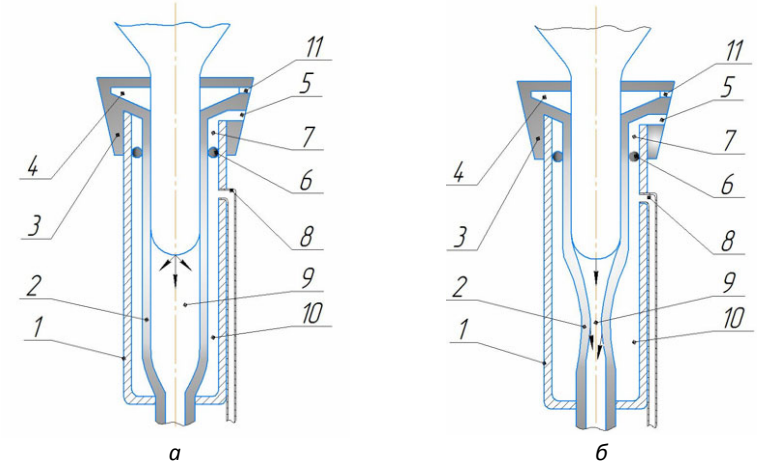
## Введение

Проанализировав существующие конструкции доильных аппаратов, разработанных и эксплуатируемых как в стране, так и за рубежом, можно сделать вывод о том, что доильного аппарата, полностью отвечающего физиологическим и морфологическим требованиям животного, на данный день, производителями не предложено. Дальнейшее развитие технологии машинного доения должно способствовать улучшению и сохранению физиологии животных, за счет снижение нагрузки на вымя, путем уменьшения величины вакуумметрического давления, до оптимальных значений, в камерах доильного стакана [1, 2].

## Основная часть

Задачами исследований являются: на основе проведенного анализа аналитических исследований, а также известных технических решений существующих отечественных и зарубежных доильных аппаратов, разработать новую конструкцию доильного стакана, позволяющую предотвратить травмирование сосков вымени, вследствие наползания или спадания его в процессе доения; обосновать основные конструктивные параметры доильного стакана, обеспечивающего полноту выдаивания и удержание его на вымени в процессе доения; изучить влияние, разработанного доильного стакана, на физиологию животных и заболеваемость вымени коров маститом. На рисунке 1 представлен разрабатываемый доильный стакан в продольном разрезе в режиме тактов «сосания» и «сжатия».

Указанные задачи достигаются тем, что: в оголовке сосковой резины *3*, разработанного доильного стакана, сделано калиброванное отверстие *5* и установлен уплотнитель *6*, образующий удерживающую камеру *7* с постоянным атмосферным давлением; патрубок *8*, предназначенный для образования переменного давления, установлен под уплотнителем; установлен клапан *11*, предназначенный для более быстрого и щадящего снятия доильных стаканов с вымени в конце процесса доения.




*а* – в такте «сосания»; *б* – в такте «сжатия»;
*1* – корпус; *2* – резина; *3* – оголовок; *4* – камера присоска;
*5* – отверстия калиброванные; *6* – уплотнитель; *7* – камера удерживающая;
*8* – патрубок переменного давления; *9* – камера подсосковая постоянного вакуума;
*10* – камера межстенная переменного давления; *11* – клапан
Рисунок – 1 Доильный стакан

Установка уплотнителя внутри оголовка, под камерой присоска сосковой резины, позволяет образовать воздушную камеру вокруг соска и соединив ее с атмосферой, посредством калиброванного отверстия, получить удерживающую камеру с постоянны атмосферным давлением, которая опоясывает сосок животного и плотно прижимает сосковую резину к соску, не давая ей возможности наползать или сползать с соска в процессе доения, тем самым устраняя травмирование сосков вымени, что усиливает рефлекс молокоотдачи.

Крепление патрубка переменного давления предложено выполнить под уплотнителем, а не снизу корпуса, как в существующих доильных стаканах, что позволит подавать атмосферный воздух в камеру переменного давления не снизу в верх под сосок, а прямо на сосок, прижимая сосковую резину к соску, что позволит прогибать ее начиная от кончика соска и ниже, а, следовательно, позволит избежать обратного оттока молока из коллектора в подсосковую камеру и удара молока по кончику соска.

## Заключение

Предлагаемый доильный стакан позволит более полно выдаивать животное, соответственно улучшить физиологичность процесса доения, а также повысить производительность труда за счет исключения операции додаивания.

Список использованных источников

1. Бородин, И.Ф. Автоматизация технологических процессов / И.Ф. Бородин, Ю.А. Судник. Москва : КолосС. – 2004. – 344 с.
Передня, В.И. Технологии и оборудование для доения коров и первичной обработки молока : Пос. / В.И. Передня, В.А. Шаршунов, А.В. Китун. – Минск : Минсанта. – 2016. – 975 с.

**Abstract.** Modern milking machines used on dairy farms and complexes do not fully meet the physiological requirements of animals, since they often use a hard and unstable vacuum to extract milk, so such machines cause pain irritation and can cause mastitis. Therefore, it is necessary to reasonably approach the choice of its design.

УДК 637.116.2

**Еднач В.Н.[1],** кандидат технических наук, доцент;
**Жилич Е.Л.[2], Рогальская Ю.Н.[2], Никончук В.В.[2]**
*[1]УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь,*
*[2]РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь,*

# ЗНАЧЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ВАКУУММЕТРИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ В КАМЕРАХ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ДОИЛЬНОГО СТАКАНА

***Аннотация:*** *Основным направлением развития технологии машинного доения, в частности уменьшения величины вакуумметрического давления, является применение в доильных аппаратах «щадящего» режима, однако необоснованное снижение величины вакуума может привести к систематическим спаданиям доильного стакана, что негативно отразится на процессе доения.*

## Введение

Международный комитет по маститу рекомендует использовать в доильном оборудовании величину вакуумметрического давления в пределах от 36 до 42 кПа для обеспечения быстрого, полного и щадящего доения коров. Такой диапазон вакуумного давления позволяет снизить до минимума вредное воздействие вакуума на сосок.

## Основная часть

Для получения желаемого уровня продуктивности необходимо грамотно подходить к выбору величины вакуумметрического давления в камерах используемого доильного стакана. С этой целью определим величину разрежения, достаточную для удержания подвесной части доильного аппарата на сосках вымени коровы, с предлагаемой конструкцией доильного стакана (рисунок 1).

Первоначально необходимо определить величину вакуума, достаточную для удержания доильного аппарата на сосках вымени.

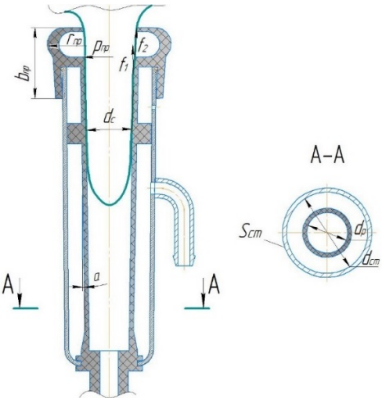



Рисунок 1 – Расчетная схема к определению сил в доильном стакане

Доильный стакан будет удерживаться на вымени коровы при соблюдении следующего условия:

$$mg < S_{ст}\rho + F_{пр} + F_{тр} \cdot \cos\alpha, \qquad (1)$$

где $m$ – масса доильного аппарата (его подвесной части), кг; g – ускорение свободного падения, м/с$^2$; $S_{ст}$ – площадь доильного стакана, м$^2$; $\rho$ – величина вакуума в подсосковой камере доильного стакана, Па; $F_{пр}$ – сила удерживающая доильный стакан на сосках вымени за

счет остаточного вакуума в присоске, Н; $F_{тр}$ – сила трения, соска по сосковой резине, Н; $\alpha$ – угол отклонения плоскости сосковой резины от вертикали, град.

Преобразовав неравенство (1) относительно величины вакуума ρ получим следующее [1,2]:

$$\rho > \left(mg - F_{пр} - F_{тр} \cdot \cos\alpha\right) / S_{ст} \qquad (2)$$

Необходимо учесть, что масса подвесной части доильного аппарата включает в себя: массу доильных стаканов с резиной; массу коллектора; массу вакуумметрических и молокоотводящих патрубков; массу молока, находящуюся в данный момент в коллекторе.

Силу, удерживающую доильный стакан, определим по формуле

$$F_{пр} = d_{с} \cdot b_{пр} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot K_1 \cdot \rho, \qquad (3)$$

где $d_{с}$ – диаметр соска, м; $b_{пр}$ – высота присоска, м; $f_1$ – коэффициент трения соска по присоску; $f_2$ – коэффициент трения соска по присоску, который зависит от влажности соска; $K_1$ – коэффициент, характеризующий эллипсообразность соска; $\rho$ – величина вакуума в присоске доильного стакана, Па.

Сила трения соска по сосковой резине находится по следующей зависимости [2]:

$$F_{тр} = F_{у} \cdot f_3 \cdot f_4, \qquad (4)$$

где $F_y$ – величина усилия, развиваемого соском от действия вакуума, Н; $f_3$ – коэффициент трения соска по сосковой резине; $f_4$ – коэффициент трения соска по сосковой резине, зависящий от влажности соска.

Следовательно, величина вакуумметрического давления в подсосковой камере доильного стакана, необходимая для удержания доильного стакана на вымени, должна подбираться согласно заданного условия:

$$\rho > \left(mg - d_{с} \cdot b_{пр} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot K_1 \cdot \rho - F_y \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot \cos\alpha\right) S_{ст}, \qquad (5)$$

## Заключение

Для правильной работы доильного аппарата необходимо увязать некоторые конструктивные параметры используемых доильных стаканов, с величиной вакуумметрического давления.

Список использованных источников

1. Ужик, В. Ф. Механизация выращивания высокопродуктивных коров : Уч. пособие. – БСХИ. – Белгород. – 2006. – 200 с.

2. Анисько, П. Е. Физиологическое обоснование переменного режима машинного доения коров при автоматическом регулировании вакуума : Автореф. дис ... канд. биол. наук / Белорус. НИИ животноводства. – Жодино. – 1998. – 22 с.

**Abstract:** The main direction in the development of machine milking technology, in particular, the reduction of the vacuum pressure value, is the use of a “gentle” mode in milking machines, however, an unreasonable decrease in the vacuum value can lead to systematic drops in the milking cup, which will negatively affect the milking process.

УДК 531.2

**Основин В.Н.,** кандидат технических наук, доцент,
**Сергеев К.Л.,** старший преподаватель,
**Еднач В.Н.,** кандидат технических наук, доцент
*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

## ДЕЙСТВУЮЩАЯ МОДЕЛЬ КОНСТРУКЦИИ ПРИВОДА РАБОЧЕГО ОРГАНА МАШИНЫ

***Аннотация.*** *В статье представлено описание конструкции действующих моделей приводных станций для проведения лабораторных работ с целью повышения интенсификации процесса обучения, формирования самостоятельной работы студентов и более глубокого освоения учебных дисциплин на кафедре «Механика материалов и детали машин».*

Изучение учебных дисциплин «Прикладная механика» (раздел «Расчет и проектирование деталей»), «Детали машин», «Детали машин и основы конструирования», «Детали машин и подъемно-транспортные механизмы» кафедры «Механика материалов и деталей машин» сопровождается выполнением студентами лабораторных работ, которые предусматривают практическое знакомство с типовыми деталями машин и сборочными единицами, с условиями

их работы и основами расчета. Одним из важных познавательных моментов при проведении лабораторных работ является исследование привода рабочего органа машины с целью изучения конструкции привода, составление кинематической схемы его, определение кинематических и энергетических соотношений в передачах. Совокупность устройств, приведенных в движение рабочие органы машин и механизмов, называют приводом. Он состоит из двигателя, являющегося источником движения, и механизмов передающих движение (передаточных механизмов) рабочим органам (рисунок 1).

Рисунок 1 – Привод рабочего органа машины

Передаточный механизм (редуктор) часто служит для увеличения крутящего момента и низкой угловой скорости рабочего органа машины, например, барабана лебедки подъемного крана, колеса автомобиля или трактора, ведущей звездочки цепного конвейера и т.д. Если же необходимо иметь несколько скоростей рабочего органа машины, то за двигателем следует коробка передач (скоростей). Привод также имеет ременную или цепную передачу, муфты для соединения валов (например, электродвигателя и редуктора) (рисунок 2), устройства, предохраняющие от перегрузки, изменяющие направление движения, преобразующие один вид в другой (например, вращательные в поступательные), блокировочные и др.

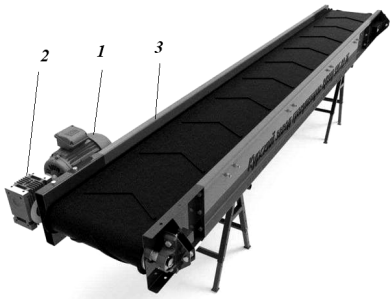
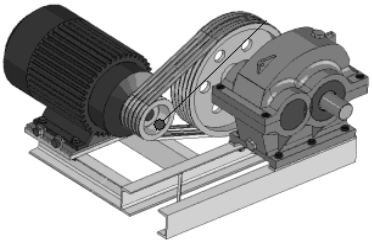



Рисунок 2 – Схема двигатель (*1*) – передача (редуктор) (*2*) – исполнительный орган машины (ленточный транспортер) (*3*)

На рисунке 3 приведены различные виды приводов (приводных станций). Различают приводные станции общего назначения (рисунок 1.1) и привода машин специального назначения (рисунок 1.2) – из лабораторного практикума (с. 8–9) [1].



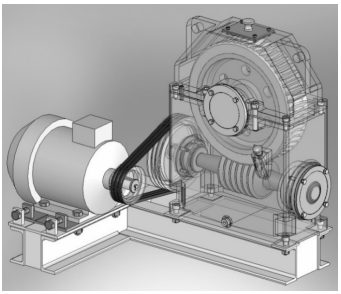


Рисунок 3 – Приводные станции

Одним из основных элементов приводной станции (привода) является редуктор. Свое название редуктор получил от латинского слова reductor, что означает «возвращаю обратно». Это и есть основной принцип действия редуктор, который представляет собой сложное механическое устройство, состоящее из одной или нескольких передач зубчатого или червячного типа. Назначение редуктора состоит в том, что при помощи этих передач любое вращение преобразуется и изменяет угловые скорости.

Редукторы входят в системы приводных механизмов. Область применения у редукторов обширна: ни один механизм, который имеет узлы вращения, не обходится без них. Все двигатели, будь то электродвигатели или двигатели внутреннего сгорания, обязательно имеют редукторы разных типов. В редукторе имеется одна или несколько систем передач с зацеплением и постоянным передаточным числом. Именно от типа передач зависит тип редуктора.

Редукторы бывают конические, цилиндрические, волновые, планетарные – это зубчатые типы передач, а также червячного типа. Кроме того, они могут быть одноступенчатыми, двухступенчатыми или трехступенчатыми системами. При этом в двухступенчатых и трехступенчатых редукторах могут применяться разные типы передач. Помимо подразделения по типам передач, редукторы делятся и по своему конструктивному исполнению.

Конструктивное исполнение – это корпус, внутри которого находятся все элементы передачи – валы, шестерни и подшипники, зубчатые колеса и т.д. За счет разницы передаточных чисел сопряженных шестерен, редуктор может снижать скорость вращения выходного вала, относительно скорости входного. Благодаря этому свойству, редуктор активно используется как привод для разных двигателей и механизмов. Универсальность применения, которой обладает редуктор, предопределяет его широкое применение в промышленности и сельском хозяйстве.

Источником механической энергии в приводе является электродвигатель. Подобрать электродвигатель, скоростные и силовые характеристики которого соответствовали бы потребителю (исполнительному устройству), в большинстве случаев невозможно. Для этой цели используются передаточные механизмы, функциями которых, кроме передачи механической энергии на расстояние, являются преобразование кинематических и силовых параметров. Непосредственное соединение двигателя с рабочим органом машины применяется крайне редко (например, гидравлические насосы, вентиляторы).

В настоящее время распространенным методом проведения лабораторных работ является демонстрация на стендах, сопровождаемая разъяснением преподавателя. Для этих целей на кафедре «Механика материалов и детали машин» были собраны стенды действующих моделей приводных станций для проведения лабораторной работы «Исследование привода рабочего органа машины».

В целом назначение привода – согласование выходных параметров электродвигателя с требуемыми параметрами рабочего органа машины.

Учебный стенд № 1 (рисунок 4) конструктивно выполнен в виде жесткого основания (рамы) *1* с расположенным на ней электродвигателем *2* и редуктором *4*. Электродвигатель преобразует электрическую энергию в механическую, которая через элементы привода передается на рабочий орган машины через цепную передачу *5* (на действующей модели представлен только один элемент передачи с гибкой связью – ведущая звездочка). Вал электродвигателя соединяется с ведущим валом червячного редуктора посредством ременной передачи *3*.

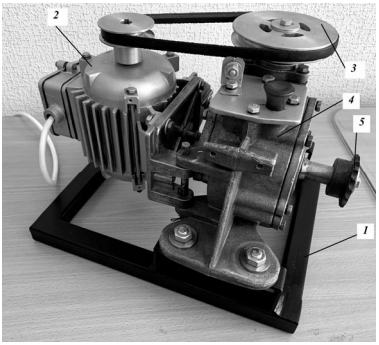



Рисунок 4 – Учебный стенд № 1 действующей модели привода

Учебный стенд № 2 (рисунок 5) конструктивно выполнен в виде жесткого основания (рамы) *1* с расположенным на ней электродвигателем *2*, редуктором *3* и валом контрпривода *6*. Электродвигатель преобразует электрическую энергию в механическую, которая через элементы привода передается на рабочий орган машины через цепную передачу *5*. Вал электродвигателя соединяется с ведущим валом червячного редуктора соединительной муфтой *4*, которая компенсирует некоторые неточности соединяемых валов.

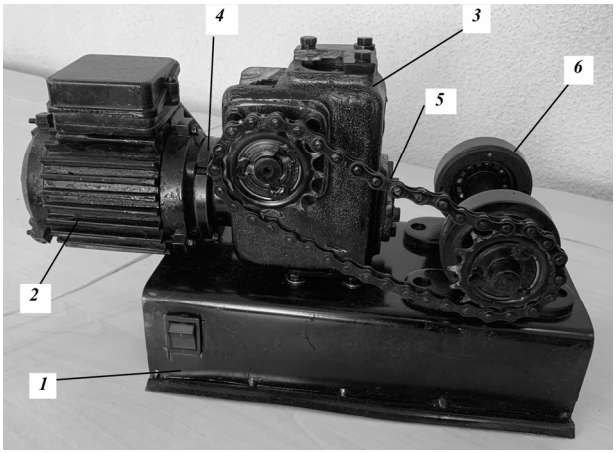



Рисунок 5 – Учебный стенд № 2 действующей модели привода

Занятия с применением демонстрационных стендов способствуют интенсификации процесса обучения, формирования самостоятельной работы студентов и более глубокого освоения учебных дисциплин «Прикладная механика» (раздел «Расчет и проектирование деталей»), «Детали машин», «Детали машин и основы конструирования», «Детали машин и подъемно-транспортные механизмы».

Список использованных источников

1 Детали машин. Практикум : учебно-методическое пособие / сост.: Н.Н. Романюк [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2020. – 156 с.

**Abstract.** The article describes the design of existing models of drive stations for laboratory work in order to increase the intensification of the learning process, the formation of independent work of students and a deeper understanding of educational disciplines at the Department "Mechanics of Materials and Machine Parts".

УДК 631.312.021.4

**Мисуно О.И.,** кандидат технических наук, доцент
*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ОТВАЛОВ ОБОРОТНЫХ ПЛУГОВ

***Аннотация.*** *Анализ тенденции развития рабочих органов плугов показывает, что расширяется применение корпусов с пластинчатыми отвалами. Предложена конструкция пластинчатого отвала, изготавливаемого на базе выпускаемого сплошного отвала корпуса ПК 20.010 (ПК 20.010-01, левооборачивающий).*

Интенсивный путь развития сельскохозяйственного производства и перевод его на промышленную основу, предъявляет особые требования к обработке почвы. Человек, воздействуя на почву, стремиться улучшить ее плодородие – способность обеспечивать растения элементами питания и водой.

Одним из путей повышения урожайности, является высокое качество обработки почвы, создающее наиболее благоприятные условия для развития культурных растений. В земледелии, обработка почвы занимает ведущее место. Она является универсальным средством воздействия на происходящие в почве биологические и физико-механические процессы. Механическая обработка почвы должна обеспечить необходимое рыхление корнеобитаемого горизонта почвы, качественное перемешивание удобрений с почвой, уничтожение сорняков, заделку растительных остатков.

Из всех видов механической обработки почвы, ведущая роль принадлежит пахоте. Повышение урожайности сельскохозяйственных культур и плодородия почвы тесно связаны с качеством пахоты, являющейся самым энергоемким процессом в полеводстве. Это самая трудоемкая и энергоемкая операция в интенсивном земледелии. На ее выполнение затрачивается 35 % энергетических и 25 % трудовых ресурсов. В этой связи особую значимость приобретает развитие энергосберегающих технологий основной обработки почвы.

Применяемые в настоящее время на пахоте лемешно-отвальные плуги обладают рядом существенных недостатков. Они не всегда обеспечивают нужное качество крошения пласта, необходимую степень заделки пожнивных остатков, не дают ровной поверхности вспаханного поля. Необходимое качество крошения почвы при подготовке под посев достигается проведением дополнительных операций: культивация, боронование, прикатывание и др., требующих значительных дополнительных затрат. При этом многократные проходы по полю агрегатов ведут к уплотнению почвы, изменению ее структуры, снижению урожайности по следу колес [1]. Развитие механизации сельского хозяйства в современных условиях сводится к производству качественной продукции в необходимых количествах при минимальных затратах труда, материалов и средств на единицу этой продукции. Экономия ресурсов – основной принцип при использовании сельскохозяйственной техники во всех промышленно развитых странах.

Улучшение качества пахоты, снижение затрат на основную обработку почвы зависит от совершенства применяемых конструкций плугов и их рабочих органов – корпусов. Рабочая часть корпуса состоит из лемеха и отвала. Лемех – это своего рода лезвие, которое подрезает верхний слой почвы и начинает ее крошение отправ-

ляя его на отвал. Отвал – это та часть, которая и производит рыхление и разбивку земляного кома. Он сдвигает пласт земли в сторону, вспушивает его и переворачивает так, чтоб верхний слой оказался внизу. Обработанная почва ложится в образованные борозда таким образом, чтоб поверхность была максимально ровная и пригодная для дальнейшей обработки. От того какой отвал зависит качество и степень разбивки грунта.

Качество вспашки и энергозатраты на нее определяются, прежде всего, правильным подбором для конкретных условий работы плужных корпусов. Поэтому все плугостроительные фирмы предлагают потребителю широкую номенклатуру плужных корпусов, отличающихся размерами, формой и типом отвальной поверхности. Как правило, в основной набор входят корпуса цилиндроидальной (культурной) формы, полувинтовые (универсальные) и винтовые. Широкий набор типоразмеров плужных корпусов позволяет потребителям наиболее полно учитывать все многообразие почвенных и хозяйственных условий работы. Корпуса с цилиндрическими отвалами обеспечивают хорошее крошение и перемешивание почвы с навозом, однако они имеют большое тяговое сопротивление. Полувинтовые отвалы (универсального назначения меньше крошат почву, но обеспечивают хороший оборот пласта, поэтому они пригодны для вспашки различных почв, в том числе со значительным травяным покровом. Винтовой корпус практически не крошит пласт, но обеспечивает его полный оборот для вспашки сеяных трав, лугов, пастбищ, а также при заделке специальных культур на "зеленое" удобрение.

Всего известно более 20 видов отвалов. Некоторые фирмы разрабатывают свои уникальные формы отвалов. Но есть основные виды, которые имеют свою специфику применения и назначение.

Корпусами ПК 20.010 (ПК 20.010-01, левооборачивающий) оснащаются плуги типа ПО нашего производства для пахоты почв под зерновые и технические культуры с удельным сопротивлением до 0,1 МПа, на глубину до 30 см и рабочей скоростью 7–9 км/час. Данный корпус является аналогом корпуса № 9 производимого норвежской фирмой «Квернеланд» и имеет оригинальную конструкцию: – удлиненный полувинтовой отвал (без пера отвала), угол в плане между лемехом и стенкой борозды 38°. Оборотное долото крепится непосредственно на лемех. Корпус обеспечивает

запашку задернелых почв с большим количеством растительных остатков, запашку сидератов на 98 %, при влажности обрабатываемого слоя до 25 %, и отличается меньшей энергоемкостью (на 15 %) по сравнению с корпусами с захватом 40 см производимых в странах СНГ.

Одним из недостатков сплошных отвалов является налипание почвы на рабочую поверхность, особенно при вспашке тяжелых и влажных почв. Это происходит потому что силы сцепления и трения между почвенными частицами движущегося пласта меньше, чем силы трения и прилипания между почвой и рабочей поверхностью. Силы трения пласта по налипшей почве в этом случае оказываются недостаточными, чтобы срывать ее с поверхности, происходит залипание.

Анализ тенденции развития рабочих органов плугов показывает, что расширяется применение корпусов с не сплошными отвалами. Одно из возможных решений – установка пластинчатых отвалов, состоящих из отдельных полос, перьев. Полосовой отвал (рисунок 1) включает грудь *1* отвала, переходящую в несколько полос *2*, веерообразно расходящихся к своим концам, заднюю опору *3* и ограничители отгиба *4*. Задняя опора *3* закреплена на полосах и двумя регулируемыми распорками соединена со стойкой корпуса плуга. Ширина щели между пластинами составляет 70...100 мм, что не позволяет проходить между ними крупным комкам. В процессе перемещения пласта по несплошной рабочей поверхности зоны давлений от элементов отвала чередуются с зонами щелей, где противодействие давлению почвы отсутствует. Полосы изготавливаются из пружинистого материала. Каждая из них прикреплена к груди отвала и к задней опоре, а консольные концы имеют ограничители отгиба, которые предотвращают чрезмерную деформацию полос, позволяя им отклоняться только в пределах упругой деформации.

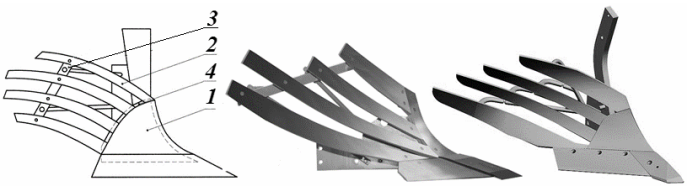



Рисунок 1 – Корпуса плуга с пластинчатым (перьевым) отвалом

При работе почвообрабатывающего орудия пласт почвы, надвигающийся на отвал, скользит по полосам, которые к известному действию сплошного отвала добавляют эффекты растягивания на веерообразной поверхности, соскабливания слоев при пересечении траектории скольжения и вибрации от переменного сопротивления почвы. Концы полос подвержены большему изгибу, они тоже вибрируют, передавая этот эффект на всю длину полосы. В результате полосовой отвал приобретает способность к самоочищению и лучшему крошению глыб.

Наличие полос позволяет делать их изогнутыми, образуя тем самым несколько миниатюрных отвалов. Это позволяет направлять элементы отвала по необходимым траекториям. Наличие разнонаправленных потоков улучшает качество рыхления. Тяговое сопротивление снижается на 15...20 %. Это объясняется уменьшением сил трения почвы по поверхности отвала. Кроме того, за счет сепарации части почвы в щели уменьшается масса отбрасываемого пласта.

Пластинчатый отвал имеет более сложную конструкцию, и поэтому стоит дороже классического винтового. При этом возможность замены полос отдельно друг от друга может позволить получить некоторую экономию на обслуживании.

Развитие пластинчатых отвалов связано с такими фирмами как «Lemken», «Amazone» (Германия), «Kverneland» (Норвегия), «Kuhn» (Франция), «John Deere» (США) которые начиная с 2000 г. активно патентуют и оснащают свои плуги отвалами с несплошной лемешноотвальной поверхностью [2].

Учитывая преимущества на пахоте плугов с пластинчатыми отвалами, при разработке конструкции пластинчатых отвалов следует принять за базовый вариант корпуса ПК 20.010 (ПК 20.010-01, левооборачивающий), которыми оснащаются плуги типа ПО, выпускаемые в республике. Такой подход позволит снизить затраты на производство полосовых отвалов и, в целом, корпусов плугов.

Разработана 3-D модель пластинчатого отвала (рисунок 2), состоящего из четырех отдельных толстых полностью прокаленных полос, изготовленных из специальной высококачественной стали с износостойким покрытием, которые при износе можно заменять отдельно.

а – вид спереди

б – вид сверху

Рисунок 2 – 3-D модель полосового отвала

Головки крепежных болтов утоплены в посадочные гнезда, что обеспечивает тугую посадку полос даже после долговременного использования. После сборки четыре полосы представляют собой отвальную поверхность базового корпуса плуга. Модели и рабочие чертежи полос выполнены по сечениям через 100 мм. В каждом сечении полос – прямоугольники с разными соотношениями размеров.

Высокая плотность и прочность материала полос обеспечит защиту от излома и высокую износостойкость. Крепятся они внахлестку, но в одной плоскости с грудью отвала и лемеха, что обеспечивает хорошее скольжение почвы и растительных остатков. В верхней и нижней, как менее нагруженных, частях отвала полосы могут быть с пластмассовым покрытием, что дополнительно снизит тяговое сопротивление корпуса плуга.

Список использованных источников

1. Мисуно, О.И. Снижение энергетических затрат на пахоту / О.И. Мисуно, С.А. Легенький, А.И. Оскирко // Материалы Международной научно-практической конференции «Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК», 4–6 июня 2014 г. Минск : БГАТУ, 2014. – С. 252–257.

2. Чеботарев, В.П. Тенденции развития плугов с пластинчатыми отвалами / В.П. Чеботарев, Д.А. Яновский // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Минск, 26–27 ноября 2020 г. – Минск : БГАТУ, 2020. – С. 88–91.

**Abstract.** An analysis of the trend in the development of the working bodies of plows shows that the use of bodies with lamellar blades is expanding. The design of a lamellar blade is proposed, which is manufactured on the basis of the solid blade of the PK 20.010 body (PK 20.010-01, left-handed).

УДК.621.7

**Андрушевич А.А.**[1], кандидат технических наук, доцент,
**Садоха М.А.**[2], кандидат технических наук, доцент
[1]*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь,*
[2]*Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь*

# ПУТИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ РБ

***Аннотация.*** *Приведены сведения об объемах производства отливок в сельскохозяйственном машиностроении различных стран. Более подробно рассмотрена ситуация с производством отливок в Республике Беларусью. Представлен прогноз по путям дальнейшего развития литейного производства в отрасли. Разработаны рекомендации по основным направлениям применения литых изделий в сельскохозяйственном машиностроении.*

Литейное производство является основной заготовительной базой машиностроения, занимающейся изготовлением сложнопрофильных фасонных заготовок.

Мировое производство литья находится в постоянной динамике и зависит от многих факторов, но прежде всего от требований и запросов машиностроения. Доля литых заготовок в общей массе конечной продукции машиностроения весьма значительна: в станкостроении и двигателестроении достигает 70–80 %, автомобилестроении – 8–10 %, тракторостроении – 15–18 %, сельхозмашиностроении – 15–20 %, при суммарных затратах на производство ли-

тых деталей в среднем 20 % от стоимости изделий. Номенклатура отливок очень многообразна. Только в Республике Беларусь она насчитывает около 15 тысяч наименований из 18 марок сплавов, развесом от 20 г до 14 т и толщиной стенок в пределах от 1,0 до 500,0 мм [1, 2]. Стоимость детали, полученной из литой заготовки, как правило, меньше изготовленной другими методами.

Суммарный объем производимых отливок в мире в 2020 году составил 109,06 млн. тонн [3] и сократился на 3,2 % по сравнению с 2019 годом.

В первую десятку основных производителей отливок вошли следующие страны: Китай (48,75 млн. тонн в год), Индия (11,49 млн. тонн в год), США (11,31млн. тонн в год), Япония (5, 28млн. тонн в год), Германия (4,95 млн. тонн в год), Россия (4,20 млн. тонн в год), Мексика (2,86 млн. тонн в год), Корея (2,38 млн. тонн в год), Турция (2,31 млн. тонн в год), Бразилия (2,29 млн. тонн в год).

Если рассматривать мировое производство в разрезе материала отливок (рисунок 1), то основные объемы получены из серого чугуна (48 %), высокопрочного чугуна (22 %) и алюминиевых сплавов (16 %) [3].

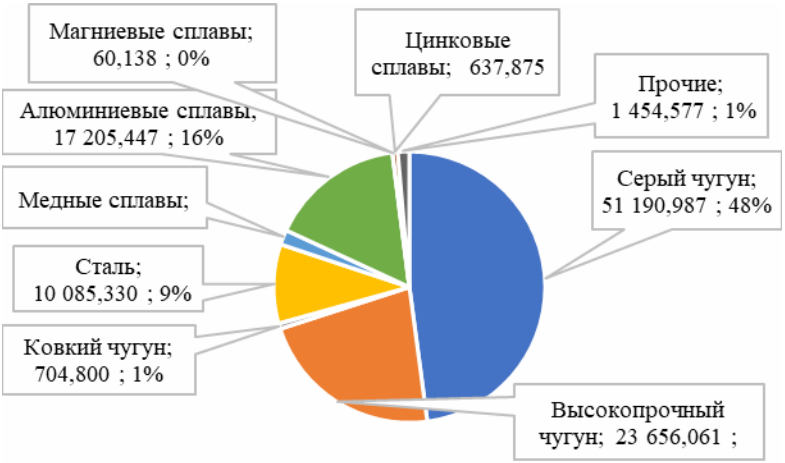



Рисунок 1 – Распределение мирового объема выпуска отливок в 2020 году по видам сплавов (в тоннах и процентах)

В Республике Беларусь в 2020 г было произведено 329 тыс. тонн отливок. При этом отливки производились на 140 предприятиях страны более, чем в 40 городах и населённых пунктах Беларуси.

Объемы производства и имеющиеся мощности базовых предприятий Министерства промышленности Республики Беларусь в области литейного производства (а это 13 наиболее крупных производителей отливок, находящиеся в ведомственной принадлежности Минпрома РБ) в 2019–2021гг представлены на рисунке 2.

Рисунок 2 – Мощности и объемы производства в области литейного производства базовых предприятий Минпрома РБ в 2019–2021гг.

Распределение произведенных базовыми предприятиями Минпрома РБ в 2021г. отливок по видам сплавов и назначению представлено на рисунке 3.

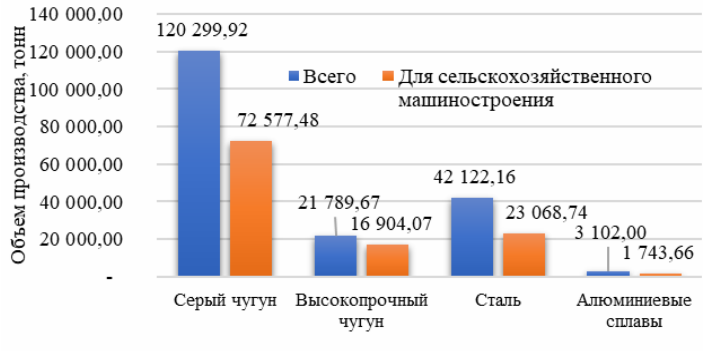



Рисунок 3 – Распределение произведенного базовыми предприятиями объема литья в 2021 г.

Как видно из приведенных данных, одним из основных потребителей литья, изготовленного базовыми литейными производствами, является сельскохозяйственное машиностроение, которое является одной из самых весомых отраслей в Республике Беларусь. Продукция сельскохозяйственного машиностроения имеет ряд своих особенностей, которые обусловлены следующими причинами: высокие требования к износостойкости и усталостной прочности рабочих поверхностей деталей, испытывающих большие нагрузки; относительно большие габариты и масса изготовляемых машин; повышенная коррозионная стойкость; преимущественно мелкосерийный и серийный характер производства и др. Методами литья в сельхозмашиностроении изготавливают головки и корпуса блоков цилиндров, гильзы цилиндров, коленчатые валы двигателей, поршни и поршневые кольца, корпуса коробок передач и редукторов, корпуса задних мостов, зубчатые колеса и шкивы, стойки, станины и корпуса машин, траки и другие детали сельскохозяйственной техники [1, 2, 4].

Исходя из рассмотренного выше, можно предложить следующие пути инновационного развития литейного производства в сельскохозяйственном машиностроении республики, обеспечивающие повышение конкурентоспособности машиностроительной продукции и снижение затрат на её производство:

1. Активный переход на широкое применение высокопрочного чугуна взамен серого чугуна и сталей.
2. Широкое применение алюминиевых сплавов при создании машин и механизмов сельскохозяйственной техники.
3. Максимальное приближение отливок по своим размерам к готовым деталям, снижение припусков на механическую обработку и повышение размерной точности за счет направленного использования специальных методов литья.

Список использованных источников

1. Мельников А.П., Садоха М.А. Технологии и тенденции развития литейного производства // Металлургия в машиностроении Беларуси: итоги и перспективы научного обеспечения: сб. статей / Нац. акад. наук Беларуси, Объединенный институт машиностроения; под ред. Е.И. Маруковича и А.А. Шипко. – Минск: Беларуская навука, 2016. – С. 48–60.

2. Толочко Н.К. [и др.] Современные литейные технологии. – Минск: БГАТУ, 2009. – 359 с.

3. Census of World Casting Production: Total Casting Tons Dip in 2019//Modern Casting, January 2021, p. 28–31.

4. Волочко А.Т., Садоха М.А. Алюминий: технологии и оборудование для получения литых изделий. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 387 с.

**Abstract.** Information on the volumes of production of castings in agricultural engineering of various countries is given. The situation with the production of castings in the Republic of Belarus is considered in more detail. A forecast for the ways of further development of foundry production in the industry is presented. Recommendations on the main directions of application of cast products in agricultural engineering have been developed.

УДК 621.792; 621.88; 621.74

**Калиниченко М.Л.**, магистр технических наук
*Белорусский национальный технический университет,*
*г. Минск, Республика Беларусь*

# РАЗРАБОТКА МОДЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКТОВ ДЛЯ ЛИТЕЙНЫХ УЧАСТКОВ РАЙСЕЛЬХОЗТЕХНИКИ

***Аннотация.*** *В работе проведен и систематизирован анализ пластиков используемых на универсальных литейных заводах для создания отливок для райсельхозтехники. Проведен анализ их прочностных свойств на сжатие в продольном и поперечном направлении, как в исходном состоянии, так и в качестве соединений, полученных при помощи технологии склеивания. Проведен стоимостной анализ использования пластичных масс для производства модельных комплектов.*

Ряд деталей необходимых для ремонта и нужд АПК изготавливается на ремонтных предприятиях райсельхозтехники, где сосредоточены механообрабатывающие участки, иногда дополненные литейными. Нормальное функционирование литейного участка не-

возможно без соответствующей оснастки и в первую очередь без производства модельных комплектов. В настоящее время наиболее распространенными материалами для их изготовления является древесина, металл и пластические массы. Металлические модельные комплекты, как правило, используются на предприятиях массового и крупного серийного производства и обладают высокими стоимостными показателями. Таким образом, данный тип комплектов не подходит предприятиям райсельхозтехники по причине специфики их работы, связанной, как с частной сменяющейся номенклатурой, так и необходимостью снижения себестоимости выпускаемых изделий.

Наиболее подходящими для мелкосерийного и единичного производства являются модели, изготовленные из древесины или пластика. При этом наиболее дешевыми являются деревянные модельные комплекты. Также применение деревянных модельных комплектов наиболее эффективно при изготовлении единичных изделий, после чего модельный комплект может быть просто утилизирован. В том случае, когда технологический процесс подразумевает изготовление подобных изделий в будущем, то возникают проблемы с хранением данного деревянного модельного комплекта. Это, как правило, обусловлено небольшими складскими помещениями на предприятиях райсельхозтехники. Также необходимо создать специальные условий в цехе, для того, чтобы исключить процесс набухания или рассыхания древесины, что в конечном итоге приводит к короблению и изменению геометрических размеров модельного комплекта.

Пластиковые модельные комплекты обладают максимум преимуществ по сравнению с деревянными модельными комплектами, например, при процессе механической обработки. Технологический процесс их производства может быть даже более дешёвым, чем деревянных комплектов, так как они не требуют поддержания сушкой установленного процента влажности и, в отличие от древесины не требуют подстройки при обработке вдоль или поперек волокон. Также модельные комплекты могут длительное время находиться в неотапливаемых помещениях с широким диапазоном температур, при этом без риска геометрических изменений. Это заметно облегчает и удешевляет их хранение.

В работе было проведено изучение модельных пластиков таких брендов как «Axson», «Rampf», «Obomodulan» [1], широко пред-

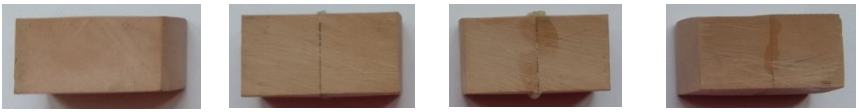
ставленных на рынке Республики Беларусь и хорошо зарекомендовавших себя в процессе эксплуатации.

Как известно, выход из строя модельных комплектов, как правило, происходит в результате нарушения геометрии тела. Это связано, как с неправильными условиями хранения, так и в результате трения с абразивными составляющими, входящими в состав формовочной смеси. Также деформации геометрии тела возникают в условиях динамических нагрузок при трамбовке и прессовке внутри формы. Чтобы снизить вероятность выхода из строя модельного комплекта по последней причине, используемые пластические массы должны быть устойчивы к прилагаемым нагрузкам, а также обладать свойствами релаксации после снятия напряжений.

Изготовление модельных комплектов из одного листа, имеющего, как правило, толщину 50 мм весьма проблематично, так как многие детали имеют более высокие размеры. Как результат, в процессе производства происходит наращивание толщины пластика за счет склеивания листов пластика друг с другом. Для склеивания используются акриловые, полиуретановые, эпоксидные и др. клеи [2]. При этом применяемый клей должен обладать как хорошими адгезионными свойствами, так и удовлетворять тем же требованиям, что и модельные пластики, так как вместе они составляют рабочую композицию.

Исходя из вышеупомянутого, представляет интерес изучения способности промышленных пластиков с различной плотностью, склеенных адгезионными составами, на способность противостоять сжимающим нагрузкам.

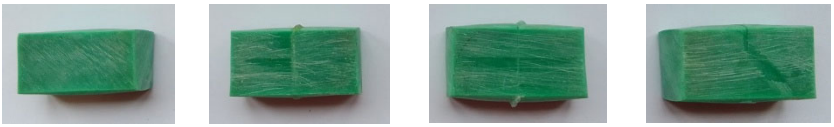
Для испытаний были выбраны пластики PROLAB 65 (Axson); PROLAB 75 (Axson); LAB 850 (Axson); WB-1404 RARU-TOOL (Rampf); LAB 920 (Axson), предоставленные УП «Технолит», г. Минск, Республика Бларусь (технические характеристики, которых указаны в [3]), соединенные с помощью клеев на акриловой основе DP 8805NS, DP 8005NS [3] и цианакрилатный супер клей «Секунда 505». В результате было выявлено, что цельный и склеенный пластик практически во всех случаях ведут себя одинаково (рисунок 1 и 2).



а б в г

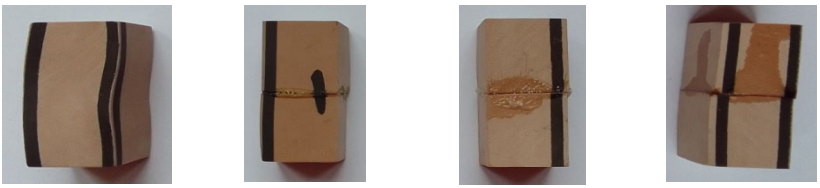
а – деформационные изменения исходного пластика;
б – деформационные изменения пластика, склеенного клеем DP 8805NS
в – деформационные изменения пластика, склеенного клеем DP 8005NS,
г – деформационные изменения пластика, склеенного супер клеем «Секунда 505»
Рисунок 1 – Деформационные изменения пластика на примере PROLAB 65 (Axson) при поперечном нагружении

Как видно из рисунка 1, 2, что даже при снятии нагрузок пластики обладают способностью частичного восстановления изначальной геометрии тела, при нагрузках же соответствующим двух или трехкратному превышению силы прессования, изменений в геометрии не наблюдаются.



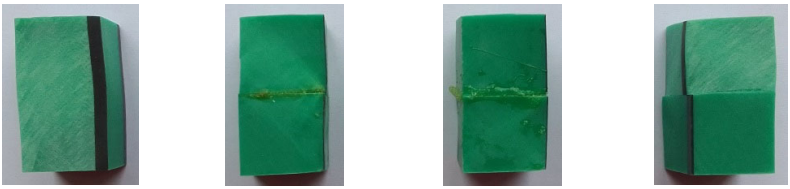
а б в г

а – деформационные изменения исходного пластика;
б - деформационные изменения пластика, склеенного клеем DP 8805NS
в – деформационные изменения пластика, склеенного клеем DP 8005NS,
г – деформационные изменения пластика, склеенного супер клеем «Секунда 505»
Рисунок 2 – Деформационные изменения пластика на примере LAB 920 (Axson) при поперечном нагружении



а б в г

а – деформационные изменения исходного пластика;
б – деформационные изменения пластика, склеенного клеем DP 8805NS
в – деформационные изменения пластика, склеенного клеем DP 8005NS,
г – деформационные изменения пластика, склеенного супер клеем «Секунда 505»
Рисунок 3 – Деформационные изменения пластика на примере PROLAB 65 (Axson) при продольном нагружении



а б в г

а – деформационные изменения исходного пластика;
б – деформационные изменения пластика, склеенного клеем DP 8805NS
в – деформационные изменения пластика, склеенного клеем DP 8005NS,
г – деформационные изменения пластика, склеенного супер клеем «Секунда 505»
Рисунок 4 – Деформационные изменения пластика на примере LAB 920 (Axson) при продольном нагружении

Склеенные образцы не чем не уступают цельным аналогам, при этом все типы используемых клеев, не подвергались разрушению клеевого шва на всех типах испытуемых пластиков. Необходимо отметить, что сплошность клеевого слоя не было нарушено ни в случае поперечного, ни в случае продольного нагружения (рисунка 3, 4).

Вывод. Проведенные исследования могут рекомендовать все типы предложенных пластиков для использования на предприятиях райсельхозтехники АПК, так как все они обладают достаточно высокой универсальностью, способностью работать с различными клеевыми составами, что может снизить себестоимость выпускаемых изделий по причине отсутствия необходимости закупки специальных клеевых составов и возможности использования клеев уже имеющихся на предприятии.

Немаловажным значением является цена пластиков. По данным УП «Технолит» г. Минск, она составляет от 305 и до 350 евро, при разных объёмах выпускаемых плит. Так плиты плотность до 0,8 г/см$^3$ выпускаются размером 1500 х 500 х 50 (мм), выше этой плотности размером 1000 х 500 х 50 (мм). Таким образом, ценовое различие более дешёвых и дорогих пластиков составляет 34 %. Однако их прочностные характеристики по результатам исследований, отличаются в 2 раза. Так пластик PROLAB 65 (плотностью 0,65 г/см$^3$) показывает напряжение при сжатие в продольном и поперечном направлении в пределах 20-30 МПа, а пластик LAB 850 (плотностью 1,3 г/см$^3$) показывает напряжение при сжатие в продольном и поперечном направлении в пределах 60–70 МПа. Оба пластика подходят для нужд мелкосерийного изготовления модельных комплектов, но, как показали исследования, для нужд райсельхозтехники могут быть с уверенностью использованы самые

дешевые пластики, которые превышают по своим свойствам древесину в 3 и более раз по механическим свойствам.

Список использованных источников

1. Нелюб, И.А. Особенности и преимущества применения современных пластополимерных материалов для изготовления модельной оснастки / И.А. Нелюб, П.А. Кушель, С.Л. Ровин // Литье и металлургия. 2010. – Т. 58. – № 4. – С. 36–39

2. Калиниченко, М.Л. Анализ современных композиционных материалов, применяемых при изготовлении модельных комплектов для мелкосерийного литейного производства, полученных с помощью технологии склеивания / М.Л. Калиниченко, Л.П. Долгий, В.А. Калиниченко // Литье и металлургия. 2020. – № 3. С. 15–22.

3. .Калиниченко, М.Л. Технология склеивания: теория, практика, материалы / М.Л. Калиниченко, Л.П. Долгий, В.А. Калиниченко. – Минск: БНТУ, 2021. – 187 с.

**Abstract.** The study was oriented in the field of plastics analysis which used in foundries to create casting forms. The type of cast model plastics at the market of our country was systematized in the work. The analysis of their compressive strength properties in the longitudinal and transverse directions, both in the initial state and as compounds obtained using bonding technology, has been carried out. The cost analysis of the use of plastic masses for the production of model kits was carried out.

УДК 621.74

**Андрушевич А.А.**[1], кандидат технических наук, доцент,
**Калиниченко В.А.**[2], кандидат технических наук, доцент,
*[1]УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь,*
*[2]Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь*

# ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НУЖД СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

***Аннотация.*** *Приведены сведения о металлических композиционных материалах и возможностях их применения в техническом*

*сервисе АПК. Рассмотрена структура, распределение элементов в металлических композиционных материалах для подшипников скольжения сельскохозяйственной техники. Определены параметры, влияющие на качество поверхности трения.*

Повышение износостойкости поверхностей деталей в узлах трения является одной из приоритетных задач технического сервиса в АПК. Свойства поверхностных слоев деталей во многом определяют работоспособность сельскохозяйственных машин, поэтому создание рабочих слоев различной толщины и заданной структуры является важной задачей, повышения надежности и ресурса работы сельскохозяйственной техники.

Для увеличения ресурса работы сельскохозяйственных машин используются различные типы подшипников, в основном, качения и скольжения. Производство последних, является более технологичным, так как от момента получения расплава до готового изделия требуется намного меньшее число операций, возможно в условиях небольших предприятий, например, райсельхозтехники. Подшипники скольжения представлены группами из металлов, керамики, пластиков и различных комбинаций данных материалов [1, 2].

К классическим подшипникам данного типа можно отнести втулки на основе металлов, как черных, представленных различными типами чугунов, так и цветных на основе бронз, и латуней. Последние являются более универсальными, так как не столь сильно привязаны к твердости контртела. Данный тип материалов также имеет преимущества по сравнению с пластиками и керамикой, поскольку в конструкции подшипников не требуется обечайка и он более прост в использовании.

Одной из основных проблем применения металлических подшипников скольжения является переход узла в аварийный режим, т.е. режим сухого трения. Работа в таком режиме приводит к сильному износу втулки с образованием недопустимых зазоров. В связи с этим представляет интерес разработка металлических материалов, способных обладать максимальной устойчивостью к аварийным режимам. Наиболее перспективными в данной области могут являться металлические композиционные материалы (МКМ) различных типов [3].

Данный тип подшипников скольжения из МКМ в отличие от традиционных втулок может обходиться без смазочных канавок

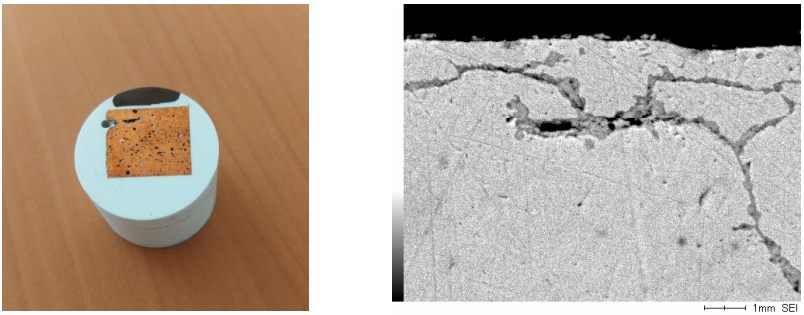
или смазочных отверстий. При использовании консистентных смазок (для аварийных режимов) для их укладки вполне достаточно поверхностной пористости получаемых материалов.

Кроме того, актуальным стоит вопрос управления свойствами МКМ по сечению подшипника. В рабочей зоне подшипника, находящейся до зоны критического износа, прочностные и триботехнические свойства должны быть максимальными, которые обеспечиваются получением оптимальной структуры, состоящей из бронзовой матрицы, пересыщенной равномерно распределенными твердыми включениями карбидов. За этой зоной данные характеристики перестают иметь решающее значение.

Для изучения возможности улучшения триботехнических свойств МКМ были проведены исследования структур образцов на основе кремнистой бронзы БрКМЦ 3-1 после поверхностного упрочняющего легирования. Образцы размещались в керамических формах, покрывались слоем из смеси воска и карбидосодержащих порошков на основе титана и железа диаметром фракций 0,2–0,5 мм. Образцы подвергались индукционному нагреву до проплавления воска и поверхностного слоя бронзы. По окончании процесса образцы извлекались из формы. Общий вид очищенного образца бронзы БрКМЦ3-1 представлен на рисунке 1.

Рисунок 1 – Общий вид очищенного образца
на основе бронзы БрКМЦ3-1

Из полученных образцов были изготовлены микрошлифы для последующего металлографического анализа (рисунок 2). Полученные образцы исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-7000 со встроенной системой элементного микроанализа.

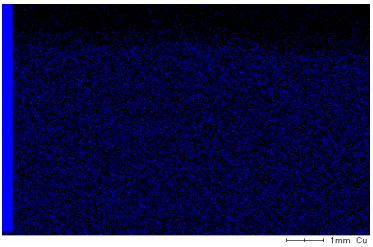



а б

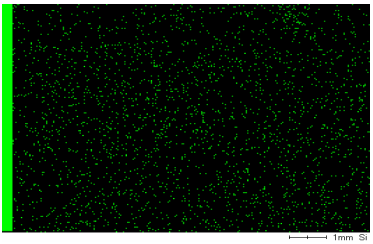
а – общий вид микрошлифа МКМ основе бронзы БрКМЦ3-1;
б – микроструктура полученного поверхностного слоя.
Рисунок 2 – Микроструктура МКМ на основе бронзы БрКМЦ3-1 после упрочнения

Анализ микроструктуры МКМ показал хорошую адгезию сформированного слоя из карбидосодержащих порошков на основе титана и железа, полученного методом индукционной наплавки, и бронзовой матрицы (рисунок 2б). Медь, как основной компонент матричного сплава, равномерно распределена по площади (рисунок 3а). Кремний (рисунок 3б) распределен относительно равномерно, хотя местами наблюдаются колебания в его количестве в зоны с его повышенной концентрацией и обедненные. Это возможно связано с реакциями, протекающими в упрочняемой зоне и повышенной газонасыщенностью, что может оказывать негативное влияние на свойства получаемых композиций. Железо и титан (рисунок 3в, 3г) также распределены равномерно, но есть и крупные включения. Видно, что поверхностный слой имеет хорошую зону контакта с основным материалом.

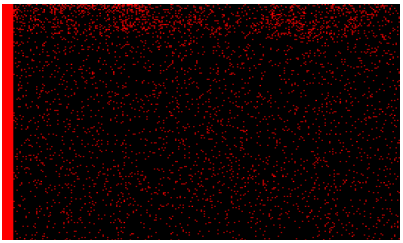
На рисунке 4 показана фотография образца после индукционного нагрева. Зерна матричного сплава хорошо видны, и наблюдаются в основном дисперсные интерметаллиды, различных размеров. Проведен химический анализ поверхностного слоя, расположенного на выбранной матрице – бронзе. На рисунке 4б представлено распределение меди по сечению в исследуемом образце.



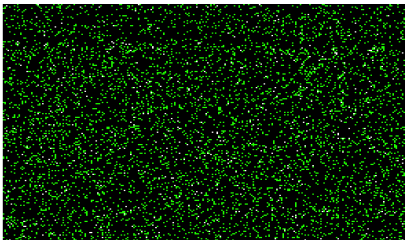

а




б



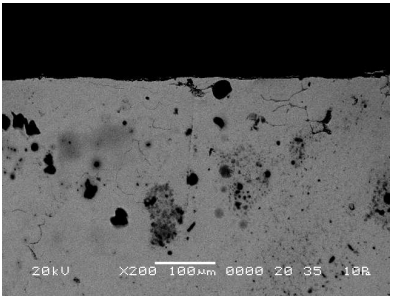
в



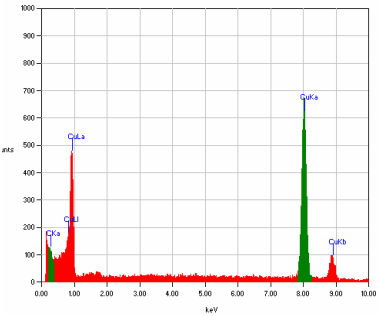
г

а – медь, б – кремний, в – титан, г – железо

Рисунок 3 – Распределение исследованных элементов в упрочняемом поверхностном слое МКМ




а




б

Рисунок 4 – Зона контакта матрица – поверхностный слой: а – зона сканирования бронзовой матрицы; б – распределение по меди в исследуемой зоне сплава БрКМЦ3-1

Проведенные исследования показали возможность регулирования качества получаемой рабочей поверхности изменением температуры заливаемого металла, так и скоростью заливки. Уменьшение скорости заливки и увеличение времени выдержки образцов позволили увеличить толщину карбидонасыщенного слоя на 20–30 %. Увеличение температуры заливаемого металла с 1200°С до 1250°С

позволило интенсифицировать процесс выгорания воскового связующего и в результате значительно снизить газовую пористость в поверхностном слое.

**Заключение.** Проведенные эксперименты по формированию композитной структуры на бронзовой матрице показали возможность реализации предложенного процесса в условиях предприятий технического сервиса для производства подшипников скольжения из металлических композиционных материалов. Качество и плотность упрочняемой поверхности определяются типом и количеством растворенных элементов, температурно-временным режимом синтеза и скоростью протекания реакции на границе контакта матрица – карбидные включения.

Список использованных источников

1. A.S. Kalinichenko, V.A. Kalinichenko, V.G. Luhin. Interaction between matrix alloy and reinforcing granules during the process of casted composite material synthesis. Материалы 12-го международного симпозиума «Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы сварка». Минск. 07-09.04.2021. С. 332–337.

2. Девойно, О.Г. Технология формирования износостойких покрытий на железной основе методами лазерной обработки / О.Г. Девойно, М.А. Кардаполова, А.С. Калиниченко и др. – Минск: БНТУ, 2020. – 282 с.

3. Калиниченко В.А., Андрушевич А.А., Парфенов А.И. Прикладные исследования: литые композиционные материалы для техники агропромышленного комплекса. Сборник научных трудов по материалам VII Международной научно-практической конференции «Модернизация аграрного образования», 14 декабря 2021 г., г. Томск. С. 846 – 849.

**Abstract.** In the study the information about metal composite materials and the possibilities of their application in technical service in the agricultural and industrial complex is given. The structure of the distribution of elements in metal composite materials for sliding bearings of agricultural machinery is considered. The parameters affecting the quality of the friction surface are determined.

УДК 631.171/637.11.636

**Колоско Д.Н.[1],** кандидат технических наук, доцент;
**Жилич Е.Л.[2], Рогальская Ю.Н.[2], Никончук В.В.[2]**
*[1]УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь,*
*[2]РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь,*

# АВТОМАТИЗАЦИЯ В МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПОСРЕДСТВОМ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ

***Аннотация:*** *Углубление уровня автоматизации в молочной промышленности имеет огромное значение, проявляющееся через повышение эффективности труда, улучшение качества молочных продуктов, оптимальное использование производственных ресурсов и многое другое.*

## Введение

Автоматизация технических процессов молочного предприятия является важнейшим показателем уровня его технического развития. Обеспечивая технологические и экономические преимущества, которых невозможно достичь при традиционной организации производства, она является основой перспективного развития современной молочной индустрии, поскольку она меняет качество труда, при этом упрощая его физически.

## Основная часть

С целью автоматизации технических процессов на молочно-товарных фермах лабораторией механизации процессов производства молока и говядины РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» совместно с ООО «Полиэфир АГРО» разработан и создан программно-аппаратный комплекс системы идентификации и контроля физиологического состояния животных (ИКФС), который обеспечивает централизованный компьютерный учет и систематизацию параметров, контроль над физиологическими показателями каждого животного в стаде, группировку их по различным показателям, отслеживание динамики влияния факторов и мероприятий.

Исполнительным элементом ИКФС является индивидуальный датчик – трансивер, предназначенный для снятия, формирования и передачи данных о физиологическом состоянии животного, а

именно о двигательной активности, руминации и температуре. Индивидуальный датчик монтируется на ошейнике с грузом, который обеспечивает его стабильное положение. Общий вид и устройство ошейника представлены на рисунке 1.

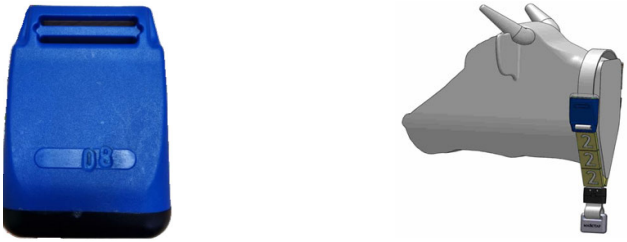


Рисунок 1 – Ошейник с трансивером

В общем плане, системы идентификации и контроля физиологического состояния животных состоит из приемников, передатчиков – трансиверов, закрепленных на ошейниках коров, и программы, обрабатывающей полученные данные.

Трансивер производства ООО «Полиэфир АГРО» – это идентификационное устройство с большим набором функций. Трансивер устанавливается на ремне ошейника на шее коровы, что позволяет идентифицировать животное. Также обеспечивает выявление охоты 24/7 с отображением оптимального времени для осеменения и производит отслеживание состояния здоровья, пищевого и прочего активного поведение.

Необработанный график активности животного можно просмотреть непосредственно в программе в личной карточке. Изначально на графике отображены данные за последний месяц. Общий вид графика активности представлен на рисунке 2.

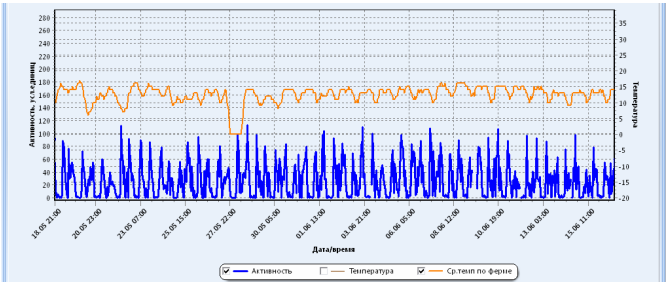



Рисунок 2 – Общий вид графика активности

К достоинствам ИКФС можно отнести: исключение ручного внесения сведений зоотехнического учета; формирование базы данных; отсутствие необходимости в составлении зоотехнических отчетов; индивидуальный почасовой мониторинг двигательной активности и руминации.

**Заключение**

Конечной целью автоматизации производственных процессов на молочных предприятиях является создание полностью автоматизированного производственного сектора, в котором функции работников сводятся к настройке производственного цикла и наблюдению за ним, наладке контрольных приборов, профилактическому ремонту и устранению неисправностей.

Список использованных источников

1. Тихомиров, И.А. Соблюдение технологии машинного доения – залог повышения качества молока и продуктивного долголетия коров / И.А. Тихомиров, В.К. Скоркин, Т.А., Рахманова // Вестник ВНИИМЖ. – № 4(28). – 2017. – С. 53–60

**Abstract:** Deepening the level of automation in the dairy industry is of great importance, manifested through increasing labor efficiency, improving the quality of dairy products, optimal use of production resources and much more.

УДК 637.112

**Колоско Д.Н.[1],** кандидат технических наук, доцент;
**Жилич Е.Л.[2], Рогальская Ю.Н.[2]**
*[1]УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь,*
*[2]РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь,*

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ТЕРМОГРАФИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ КОРОВ

***Аннотация:*** *Воздействие негативных факторов машинного доения является ведущей причиной поражений сосков вымени высокопродуктивного скота, таким заболеванием как мастит. Даль-*

*нейшее совершенствование технологии машинного доения требует создания новых методов для раннего выявления различных форм мастита, поэтому одним из новых методов исследования молочной железы крупного рогатого скота является тепловидение.*

## Введение

Основа термографии – изменение интенсивности инфракрасного излучения патологического очага, вследствие усиления кровоснабжения, метаболических процессов или увеличения температуры. Наличие патологического процесса характеризуется одним из трех качественных термографических признаков, а именно: появлением аномальных зон; нарушением нормальной термотопографии сосудистого рисунка; изменением градиента температуры в исследуемой зоне.

## Основная часть

На сегодняшний день оценка влияния доильного аппарата на состояние сосков и вымя основана только на визуальных наблюдениях, поэтому одним из новых методов исследования молочной железы крупного рогатого скота является тепловидение. Тепловизионное исследование не требует использования для животных анестезии и не подвергает их воздействию потенциально опасного излучения, поэтому данный диагностический метод абсолютно безвреден, не имеет противопоказаний и может служить средством массового профилактического обследования дойного стада, поскольку позволяет наблюдать изменения в распределении поверхностной температуры на ранних стадиях развития патологий. Также термографию применяют при диспансеризации, в таких случаях термография может использоваться для выявления субклинических форм мастита [1, 2].

Именно поэтому, с целью работки нового неинвазивного метода диагностики воспалений молочной железы на ранних стадиях сотрудниками РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» проводилась наработки базы данных для тепловизионной диагностики. Пример полученных термограмм молочной железы здоровой коровы представлен на рисунке 1.

Наработка базы данных проводилась в ГП «Экспериментальная База «Зазерье» с помощью тепловизора ZK-178K. Примеры термограмм молочных желез коров, болеющих маститом представлены на рисунке 2.

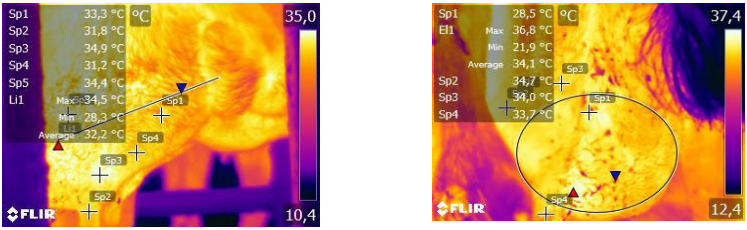



Рисунок 1 – Термограммы молочной железы здоровой коровы

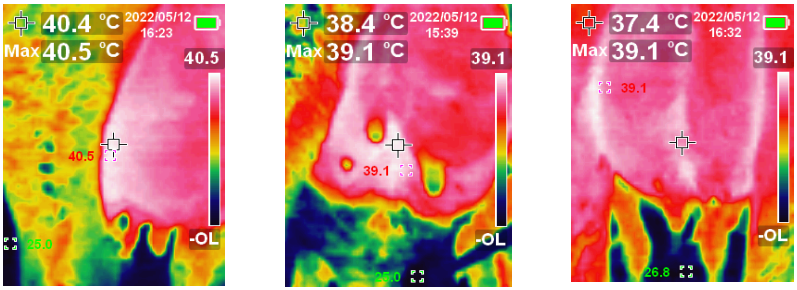



Рисунок 2 – Термограммы молочных желез коров, болеющих маститом

У здоровых животных в норме присутствие естественных очагов более высокой местной температуры на поверхности тела. Наличие более теплых участков тела может быть связано: с отсутствием волосяного покрова; с более интенсивным кровоснабжением по сравнению с соседними участками; с поверхностно расположенной сосудистой сетью; с усиленной теплоотдачей для охлаждения организма.

## Заключение

Термография – безвредный и неинвазивный метод исследований, что позволяет применять его многократно, наблюдать процессы в динамике, а также использовать для раннего выявления патологических процессов при воспалении молочной железы коров. В комплексе с другими методами исследования термография помогает определить наличие поверхностных новообразований, которые могут быть скрыты, а также уточняет их размеры и локализацию.

## Список использованных источников

1. Даценко, А.В. Использование дистанционной инфракрасной термографии в экспериментальной медицине при экстремальных воздействиях (обзор) / А.В. Даценко, В.И. Казьмин // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2016. – №12 (4). – С. 685–691.

Коростелева, Н.И. Биометрия в животноводстве : Учебное пособие / Н.И. Коростелева, И.С. Кондрашкова, Н.М. Рудишина, И.А. Камардина. – Барнаул : Изд-во АГАУ. – 2009. – 210 с.

**Abstract:** The impact of the negative factors of machine milking is the leading cause of teat damage in the udder of highly productive livestock, such as mastitis. Further improvement of machine milking technology requires the creation of new methods for the early detection of various forms of mastitis, so one of the new methods for studying the mammary gland of cattle is thermal imaging.

УДК 631.3-048.24

**Еднач В.Н.**, кандидат технических наук, доцент;
**Ракова Н.Л.**, кандидат технических наук, доцент;
**Пантелеева Ж.И.**,
*[1]УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь,*

# К ВОПРОСУ РАСЧЕТА ДИНАМИЧЕСКОГО УДАРА ПРИ РАБОТЕ БОКОВОГО АВТОРАЗГРУЗЧИКА

***Аннотация.*** *В статье рассматриваются вопросы расчета ударной нагрузки при опрокидывании транспортного агрегата на боковом авторазгрузчике.*

## Введение

В современных условиях для транспортировки зерна как с поля, так и между предприятиями все больше применения находят автопоезда с тягачами. Не всякий прицеп имеющий достаточный объем бункера имеет функцию самосвала при этом постоянно возникает необходимость обеспечить высокую скорость приема сыпучих грузов. Для решения данной задачи крупные сельскохозяйственные предприятия и заготовители зерна применяют платформы авторазгрузчики. Платформа авторазгрузчик – это устройство, предназначенное для опрокидывания автомобиля с прицепом.

Широкое распространение получила конструкция с задней выгрузкой автомобиля и боковой разгрузкой прицепа. Также довольно широко используются авторазгрузчики с боковой разгруз-

кой транспортного средства, однако в этом случае в прицепе должны иметься боковые разгрузочные окна.

Существенной опасностью при наклоне автомобиля либо любого другого агрегата являются динамические нагрузки возникающие при достижении максимальных углов крена. Полное опрокидывание агрегата предотвращается страховочными тросами или цепями расположенными со стороны наибольшего угла подъема. В случае если агрегат достигнет максимального угла опрокидывания страховочные тросы это предотвратят, но при возврате в исходное положение происходит динамический удар, сила которого передается на элементы платформы. Целью данного исследования является определение силы удара агрегата перешедшего максимальный угол опрокидывания и возвратившегося в исходное положение на элементы платформы.

При определении динамической силы удара опрокидывающегося агрегата исходим из условий теории определения угла поперечной статической устойчивости. Главными критериями устойчивости агрегата являются характеристики его геометрических параметров и расположение центра тяжести, определяющие границы устойчивости при помощи предельных углов бокового крена. Рассмотрим следующее условие. Агрегат расположен на наклонной опорной поверхности авторазгрузчика, и преодолел предельный угол опрокидывания, под действием только сил тяжести, однако от полного опрокидывания на бок был остановлен страховочными тросами.

В момент удара колес о горизонтальную плоскость кинетическая энергия автомобиля во вращательном движении (ось *O*, рисунок 1) равна работе силы тяжести *P*.

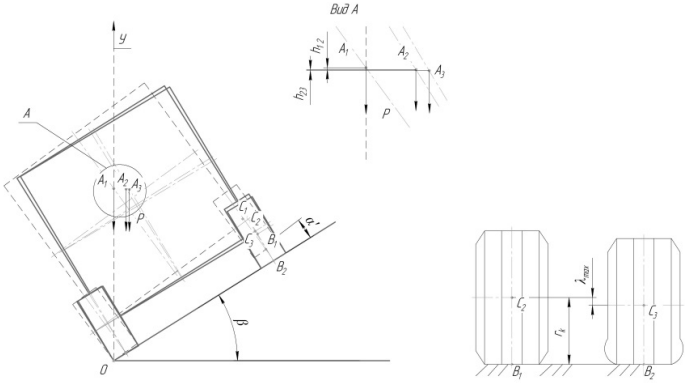



Рисунок 1 – Схема к определению сил действующих на колеса автомобиля при опрокидывании.

$$T_{\text{уд}} = A_{P_{1,2}}, \qquad (1)$$

где кинетическая энергия автомобиля во время удара равна

$$T_{\text{уд}} = \frac{I_z \omega_{\text{уд}}^2}{2},$$

$\omega_{\text{уд}}$ – угловая скорость автомобиля во время удара.

Работа силы тяжести

$$A_{P_{1,2}} = P \cdot h_{1,2}, \qquad (2)$$

где $h_{1,2}$ – вертикальное перемещение центра тяжести до момента удара.

Предполагается, что кинетическая энергия автомобиля полностью переходит в потенциальную энергию деформации шин. (количество шин равно *n* подвергнутых удару).

К моменту окончания деформации сила тяжести совершает работу

$$A_{P_{2,3}} = P \cdot h_{2,3}, \qquad (3)$$

где $h_{2,3}$ – вертикальное перемещение центра тяжести в момент удара.

Энергия деформации шин

$$U_{\text{ш}} = \frac{1}{2} c_{\text{ш}} \lambda^2 \cdot n, \qquad (4)$$

где $c_{\text{ш}}$ – упругая жесткость шин, $\lambda$ – деформация шин при ударе.

Составим уравнение энергетического баланса.

$$T_{\text{уд}} + A_{P_{2,3}} = U_{\text{ш}}. \qquad (5)$$

Учитывая (1) – (4) уравнение (5) примет вид:

$$Ph_{1,2} + Ph_{2,3} = \frac{1}{2} c_{\text{ш}} \lambda^2 \cdot n.$$

Так как $h_{2,3} = \lambda \sin\alpha$, то имеем:

$$Ph_{1,2} + P\lambda \sin\alpha = \frac{1}{2} c_{\text{ш}} \lambda^2 \cdot n$$

$\lambda$ определяется из решения уравнения:

$$\lambda^2 - 2a\lambda - b = 0,$$

где $a = \dfrac{P\sin\alpha}{c_{ш}n}$, $b = \dfrac{2Ph_{1,2}}{c_{ш}n}$.

Корни данного уравнения равны:

$$\lambda = a \pm \sqrt{a^2 + b},$$

Тогда максимальное значение деформации при ударе

$$\lambda_{max} = a + \sqrt{a^2 + b}.$$

Упругая сила, действующая на шины определяется выражением

$$F = \lambda_{max} c_{ш}.$$

График зависимости силы от веса автомобиля представлен на рисунке 2.

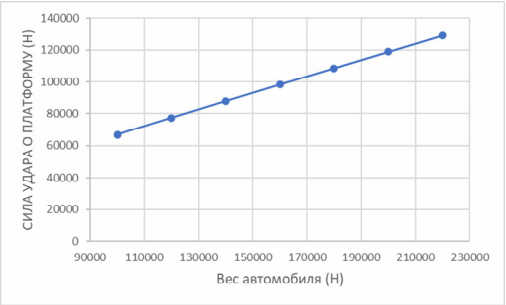



Рисунок 2 – График зависимости упругой силы, действующей на правое колесо от веса автомобиля

Полученные зависимости позволяют определить динамические нагрузки действующие на платформу.

Список использованных источников

1. Киреев И.М., Коваль З.М. Экспериментально-теоретический метод определения продольной и поперечной статической устойчивости сельскохозяйственных агрегатов. Агрофорум. Электронный ресурс. https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalno-teoreticheskiy-metod-opredeleniya-prodolnoy-i-poperechnoy-staticheskoy-ustoychivosti-selskohozyaystvennyh. Дата доступа 30.09.2022. 16:09.

2. Тарг, С.М. Краткий курс теоретической механики: учебник / С.М. Тарг. – Москва: Высшая школа, 2009. – 416 с.

УДК 371.315:004:53

**Баскакова В.В.,** старший преподаватель;
**Голочалова А.В.,** ассистент
*ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина», пос. Майский, Российская Федерация*

# ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИН УЧЕБНОГО ПЛАНА В АГРАРНОМ ВУЗЕ

***Аннотация.*** *Современные стандарты образования требуют применения инновационных технологий. К таким технологиям можно отнести электронные образовательные ресурсы. На примере Белгородского государственного аграрного университета им. В.Я. Горина будет показано как устроены курсы учебного плана для студентов направления подготовки Агроинжененерия.*

На базе Белгородского государственного аграрного университета им. В.Я. Горина активно применяется система электронной поддержки учебных курсов (СЭПУК). В данной системе студенты в дистанционном формате изучают курсы в соответствии с их учебным планом. Так же в электронной образовательной среде есть возможность изучать дополнительный материал по дисциплинам, реализовывать удаленное взаимодействие студента и преподавателя.

Использование электронных образовательных ресурсов не противоречит применению балльно-рейтинговой системы оценки обучения (БРС), что позволяет контролировать студента в течение всего процесса обучения.

Электронные курсы по дисциплинам, для студентов направления подготовки Агроинженерия рассчитаны как на один, так и на несколько семестров, в зависимости от количества часов на изучение данного материала.

Если рассмотреть процесс обучения студентов на примере дисциплины «Физика», то можно конкретно обозначить, что дисциплина изучается 1 семестр. За это время студенты должны сформировать понятия о фундаментальных законах классической и современной физики, приобрести необходимые навыки для дальнейшего изучения профильных дисциплин. Проведение лекционных, практических и лабораторных занятий проводится как в традиционном,

так и в дистанционном форматах с применением электронных образовательных ресурсов.

Структурно, дисциплины в электронной среде могут быть разбиты на модули, включающие в себя как лекционные материалы, так и лабораторно-практические. В процессе изучения лекций студент приобретает теоретические знания, необходимые, для решения практических и лабораторных работ. Особенностью изучения лекционного материала в системе электронной поддержки учебных курсов является то, что при изучении лекции самостоятельно, студент оставляет «след» в системе в виде ответа на контрольный вопрос. Это дает возможность получить дополнительный балл в балльно-рейтинговую систему и понимание того, что материал был изучен и проработан студентом. Кроме того, такая же система работает с практическими и лабораторными занятиями [3]. Студенту предлагается загрузить на сайт ответ на задание, преподаватель даст ему оценку, которая затем переведется в баллы.

По завершению изучения каждого модуля, студент проходит тестирование. Тестирование дает качественную оценку знаниям, полученным при освоении материала, а также дает возможность обучающимся объективно оценить себя в вопросе изучения материала. Студент проходит определенное количество вопросов за выделенный промежуток времени. Согласно системе оценивания, успешно сданным, считается тест, с результатом более 51%.

Разбалловка устанавливается преподавателем курса, но не может противоречить положению о балльно-рейтинговой системе оценки обучения в ФГБОУ ВО Белгородского ГАУ.

Кроме этого, электронный курс дает возможность студенту получать в течение семестра консультации по общим вопросам курса, текущие консультации курса, тем самым обеспечивая постоянную связь преподавателя и студента. Так же к элементам курса относятся дополнительная литература, глоссарий. Для студентов размещен перечень вопросов к экзамену и разбор типовых задач [1].

Система электронной поддержки учебных курсов эффективно показала себя во время дистанционного обучения при пандемии [2].

В настоящие время наличие электронных образовательных ресурсов является необходимым критерием для успешного получения аккредитации ВУЗа.

Таким образом, использование электронных образовательных ресурсов позволяет получать качественное образование вне зави-

симости от места положение студента, а также дает возможность создания единого образовательного пространства.

Список использованных источников

1. Акупиян А.Н. Применение технологий электронного обучения в вузе на примере преподавания общей физики // Педагогический журнал. 2019.Т.9 №4А. С. 208–214. DOI: 10.34670/AR.2019.44.4.002

2. Семернина М.А., Скрипина И.И. Использование облачных служб и сервисов в информационно-образовательной среде вуза // Материалы Национальной научно-практической конференции «Цифровые и инженерные технологии в АПК». Решение проблем взаимодействия науки и бизнеса Майский: Издательство ФГБОУ Белгородский ГАУ, 2022. – С. 320

3. Шаршанова М.А. Методика проведения лабораторного практикума по физике в сельскохозяйственном вузе // Проблемы и решения современной аграрной экономики: Материалы Международной научно-производственной конференции. Том 2 – Майский: Издательство ФГБОУ Белгородский ГАУ, 2017. – С. 156–157

**Abstract**. Modern education standards require the use of innovative technologies. Such technologies include electronic educational resources. On the example of the Belgorod State Agricultural University named after V.Ya. Gorin, it will be shown how the physics course is arranged for students of the Agroengineering training direction

УДК 637.66

**Паркалов И.В.[1],** доктор биологических наук,
**Жилич Е.Л.[1], Цалко С.А.[1]**;
**Еднач В.Н.[2],** кандидат технических наук, доцент
*[1]РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь,*
*[2]УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь,*

## ЭКСТРУДИРОВАННАЯ УГЛЕВОДНАЯ ДОБАВКА В РАЦИОНАХ КОРМЛЕНИЯ ПУШНЫХ ЗВЕРЕЙ

***Аннотация:*** *Экономические условия в пушном звероводстве требуют использования высокоэффективных энергосберегающих*

*технологий безотходного производства. Актуальной задачей данного направления является внедрение безвредных методов переработки различных отходов, которые представляют собой ценное вторичное сырье для производства кормов.*

## Введение

Главным источником углеводов в рационах пушных зверей служат зерновые корма из злаковых культур зерновые корма, таких как: ячменя, пшеницы, кукурузы и др. Для частичной замены зерновой группы кормов в рационах кормления животных целесообразно использовать отходы технических производств, такие как: отходы свекловичного производства (жом, патока), спиртового и пивоваренного производства (барда, дробина) и отходов от переработки плодовой и овощной продукции [1, 2].

## Основная часть

Исследования проводили в Пинском производственном участке УП «Белкоопмех», Республика Беларусь с 9 по 15 сентября 2021 года. Предметом исследований были: технологическая линия комплекта оборудования производства комбикормов для пушных зверей, фуражный ячмень и тыква. Определение содержания питательных веществ в углеводной добавке выполнено в лаборатории технологии кормопроизводства и биохимических анализов РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству».

Началом решения данной задачи послужила научно-техническая программа Союзного государства («Комбикорм-СГ»). В течение реализации данной программы сотрудниками научно-практического центра было налажено производство комбикормов для пушных зверей в Пинском производственном участке УП «Белкоопмех». На рисунке 1 показана технологическая линия по производству комбикормов для пушных зверей.

Были разработаны: рецепты и технология производства белковых комбикормов-концентратов для пушных зверей. В состав комбикормов включались боенские отходы, отходов от переработки рыбы, тушки пушных зверей и фуражный ячмень. Впервые предложен способ экструзии – как основной, для получения углеводной добавки используя отходы плодоовощной продукции с зерновым наполнителем.

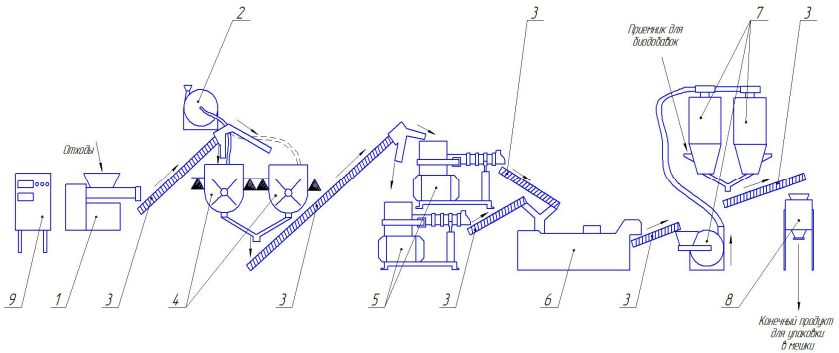



Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема комплекта оборудования для производства высокоэффективных комбикормов для пушных зверей: 1 – мясорубка ИК-5; 2 – дробилка ДПМ-22; 3 – конвейер винтовой; 4 – смеситель; 5 – экструдер; 6 – охладитель; 7 – мини комбикормовый завод; 8 – дозатор; 9 – шкаф управления

В состав рецепта углеводной добавки входила тыква (30 %) и измельченный фуражный ячмень (70 %). Полный технологический процесс приготовления углеводной добавки включал следующие основные операции: измельчение, смешивание, экструзия, охлаждение [2]. В таблице 1 приведены результаты содержания питательных веществ в готовом продукте.

Проведенные нами анализы на содержание питательных веществ в углеводной (зерноовощной) добавке до процесса экструзии и после экструзии показали, что готовый продукт после экструзии содержит на 0,37 % меньше сырого протеина и на 2,36 % меньше сырого жира.

Таблица 1 – Результаты содержания питательных веществ

| Наименование показателей, ед. измерения | ТНПА, устанавливающий метод испытания | Фактическое значение | |
|---|---|---|---|
| | | до экстру-зии | после экструзии |
| М.д. сух. вещ-ва, % | | 70,9 | 82,6 |
| М.д. общей влаги, % | ГОСТ 13496.3-92 п.2 | 29,1 | 17,4 |
| Массовая доля в сухом веществе, % | | | |
| Азота | ГОСТ 13496.4-93 п.2 | 2,09 | 2,03 |
| Сырого протеина | ГОСТ 13496.4-93 п.2 | 13,06 | 12,69 |
| Сырого жира | ГОСТ13496.15-2016 п.9.1 | 3,15 | 0,79 |
| Сырой клетчатки | ГОСТ 13496.2-91 | 5,2 | 4,4 |
| Сырой золы | ГОСТ 26226 п.1.4 | 4,1 | 3,3 |

Процесс экструзии позволил увеличить долю сырых безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) до 61,42 %, что на 35 % выше содержания их в углеводной смеси до экструзии.

**Заключение**

Результаты исследований свидетельствуют о возможности сократить долю кормов зерновой группы в рационах кормления пушных зверей до 50 %, путем экструзионной переработки отходов плодоовощной продукции с зерновым наполнителем.

Список использованных источников

1. Балакирев, Н.А. Кормление норок, монография / Изд. дом «Научная библиотека». – Москва. – 2015. – 248 с.

2. Паркалов, И.В. Переработка биоотходов для использования в звероводстве / И.В. Паркалов, М.В. Навныко, Э.В. Дыба / ж. Комбикорма. – 2019. – №5. – С. 31–35.

**Abstract:** Economic conditions in fur farming require the use of highly efficient energy-saving technologies for non-waste production. An urgent task in this area is the introduction of harmless methods for processing various wastes, which are valuable secondary raw materials for the production of feed.

УДК 667.6

**Пчельников А.В.,** кандидат технических наук;
**Пичугин А.П.,** доктор технических наук, профессор;
**Хрянин В.Н.,** кандидат технических наук, доцент
*ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», Новосибирск, Российская Федерация*

## РАЗРАБОТКА НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ АПК

***Аннотация.*** *В статье рассмотрены актуальные направления работы для обеспечения эксплуатационных качеств защитных покрытий машин и оборудования в АПК для условий Сибири. Определено пять основных направлений: Коррозионная защита, терморегуляция, огнестойкость, антистатика и радиационная защита.*

*Выявлено, что наиболее эффективным способом для обеспечения эксплуатационных качеств покрытий является их наномодификация. Представлена методика проведения испытаний на огнестойкость, разработанная в Новосибирском ГАУ. Представлены результаты предварительных испытаний по двум направлениям: огнестойкость и коррозионная защита. Одна из перспективных нанодобавок является Оксид висмута, которая позволяет повысить огнестойкость и физико-механические свойства.*

Сельскохозяйственная отрасль Сибири имеет свою специфику и отличается особыми условиями эксплуатации. В настоящее время, применяемые защитные покрытия в большинстве случаев не обладают необходимыми свойствами.

Специфика эксплуатации машин и оборудования АПК в Сибири имеет ряд отличительных особенностей [1]:

1. Высокая коррозионная активность [2].

Металлофонд сельскохозяйственной отрасли России составляет 150 млн тонн. Ежегодно потери металла в результате коррозионных разрушений составляют до 20 %, что практически в два раза превышает средние потери металла по стране в целом.

Срок службы металлических поверхностей объектов сельскохозяйственного назначения в 2,5–3 раза короче, чем в других сферах, это связано со спецификой эксплуатации этих объектов.

В частности, металлические поверхности сельскохозяйственной техники, за счет своих специфических условий эксплуатации и хранения также подвергаются интенсивному коррозионному разрушению. Это обосновывается совместным воздействием растительных сред, удобрений, погодных факторов (в особенности для условий Сибири) и механических нагрузок.

2. Высокая пожароопасность

Сельскохозяйственное производство связано с большим числом горючих материалов: сено, солома, созревший хлеб, лес, древесина, топливно-смазочные материалы и т.д.

К наиболее пожароопасным сельскохозяйственным объектам относятся предприятия по хранению и переработке зерна, заводы по производству растительного сырья, сельскохозяйственная техника и др. [3].

Общий материальный ущерб за последние несколько лет в России составляет 60 млн долларов.

Возгорания сельскохозяйственной техники, работающей сезонно при повышенных эксплуатационных нагрузках, одна из основных проблем в России в период проведения уборочных работ.

Одной из основных причин повышенного возгорания с/х техниики является устаревший парк. 85% тракторов и 50% комбайнов в России старше 10 лет.

Ежегодно в России, в результате пожаров уничтожается более 7800 единиц автотракторной техники.

В свою очередь, Сибирский регион относится к одному из наиболее пожароопасных регионов страны [3].

3. Климатические условия Сибири.

Фактором, сокращающим срок эксплуатации машин и оборудования в АПК в условиях Сибири, являются суровые погодные условия:

- большие перепады температур (от -50 ºС зимой до +40 ºС летом) и частые переходы температур через 0 градусов;
- высокая солнечная радиация;
- колебания влажности воздуха в течение года в пределах 50–70 %.

В результате наблюдаются следующие негативные последствия:

1) Влажный воздух, перепады температур и переходы температуры через 0°С приводят к возникновению термических напряжений в защитных покрытиях из-за различных коэффициентов линейного расширения компонентов. Соответственно, покрытия теряют свои защитные свойства, и металл начинает коррозировать.

2) В зимний период, при больших отрицательных температурах тратится огромное количество энергии на сохранение тепла и обеспечение работоспособного состояния агрегатов сельскохозяйственных машин и оборудования. В связи с этим сокращается их ресурс и повышаются затраты на их содержание.

4. Особенности расположения Сибирского региона. Повышенный радиационный фон.

Еще одна из особенностей Сибири – расположение. Большая часть региона находится на гранитных плитах с высокой концентрацией радона (до трех раз выше, чем средняя норма облучения радоном по стране). Его постоянное воздействие на человека приводит к развитию рака и злокачественных опухолей. Воздействие радоном относится к альфа-излучению и его воздействие в десятки раз интенсивнее, чем воздействия другого типа.

Большое значение эта проблема имеет для сельских жителей, которые проводят значительное время, работая в непосредственной близости от источников радиации в зонах с повышенным радиационным фоном. Как правило, жизнь сельских механизаторов в районах с повышенным радиационным фоном значительно короче, чем в районах с благоприятной обстановкой. Среди таких людей наблюдается высокая заболеваемость онкологическими заболеваниями.

В связи с этим, решение вопросов, связанных с защитой от радиационных излучений людей, находящихся в зонах с повышенным радиационным фоном, требует решения.

В настоящее время, защитные покрытия, применяемые в условиях Сибири, не обладают необходимым набором эксплуатационных качеств, что выражается в больших материальных потерях.

Таким образом, актуально находить пути обеспечения комплексом необходимых эксплуатационных качеств защитных покрытий для различных условий.

Один из самых эффективных способов повышения эксплуатационных качеств защитных покрытий является их наномодификация. За счет этого возможно добиться изменения целого комплекса свойств защитных покрытий.

Добавление наночастиц проводится путем химического модифицирования, которое может осуществляться как на стадии синтеза исходных компонентов, так и непосредственно в процессе их переработки, а также возможно совершенствование составов на этапе их приготовления к применению.

Наиболее эффективным является последнее направление, поскольку корректировка рецептуры составов при их приготовлении позволяет без изменения технологических процессов и режимов производства материалов достичь улучшения комплекса свойств защитных покрытий [4,5].

Существующие способы оценки огнестойкости, как правило, являются обобщенными и не ориентированы на испытание защитных покрытий и, в большей степени, направлены на определение показателей горючести строительных материалов. Также известные способы для испытания защитных покрытий позволяют определять лишь несколько показателей горючести материалов. в связи с этим не позволяют в полной мере оценить их огнестойкость.

Для повышения информативности проведения испытаний на Огнестойкость защитных покрытий, в Новосибирском ГАУ разработано и запатентовано «Устройство для определения показателей горючести защитных покрытий» (патент РФ №2740179) (рисунок 1). С помощью этого устройства, возможно определять следующие показатели: температура дымовых газов, продолжительность самостоятельного горения/тления, длина повреждения образца, масса образца до и после испытания, температура воспламенения/самовоспламенения, расстояние до источника огня.

Данная методика показала свою эффективность, а испытание контрольных образцов позволило определить ее сходимость с другими методиками.

В качестве объяснения происходящим процессам был применен физико-химический метод – термомеханические исследования, позволяющие с достаточной достоверностью подтвердить рациональный состав по характеристикам термомеханической кривой, которая строится на основе измерения деформации одноосного сжатия под влиянием непрерывно действующей нагрузки в условиях нагрева образца с постоянной скоростью в интервале температур от комнатной до 300 ºС [7,8].

Адгезионная прочность лакокрасочных покрытий определялась в соответствии с ISO 2409 и 4624.

Толщина лакокрасочного покрытия определялась в соответствии с ISO 2808.

Твердость по Шору лакокрасочного покрытия определялась в соответствии с ISO 7619.

Для проведения испытаний подготовлены образцы в соответствии с ISO 1514. Для получения лакокрасочных покрытий принята эмаль АК-1301, выбор которой обоснован в предыдущих исследованиях [9].

Ниже представлены полученные результаты по отдельным направлениям (огнестойкость, коррозионная защита).

Для повышения огнестойкости защитных покрытий применяют специальные модифицирующие добавки - антипирены. Однако, необходимо учитывать их влияние на физико-механические свойства, чтобы обеспечить надежную защиту металлических поверхностей.

Были испытаны наиболее эффективные порошковые антипирены (гидроксид алюминия – ГА, гидроксид магния – ГМ), а также определено их влияние на адгезионную прочность покрытий.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2740179

Устройство для определения показателей горючести защитных покрытий

Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Новосибирский государственный аграрный университет" (RU)

Авторы: Пичугин Анатолий Петрович (RU), Пчельников Александр Владимирович (RU), Смирнова Ольга Евгеньевна (RU), Хританов Владимир Федорович (RU)

Заявка № 2020118954

Приоритет изобретения 01 июня 2020 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 12 января 2021 г.

Срок действия исключительного права на изобретение истекает 01 июня 2040 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

(a) (b)

Рисунок 1 – Устройство для определения показателей горючести защитных покрытий: (a) – Патент №2740179; (b) – Вид устройства.

В результате проведенных испытаний наблюдается, что с ростом концентрации гидроксида алюминия в эмали повышается температура воспламенения покрытия (со 110…120ºС до 230…240ºС) и время его сопротивления воспламенению (с 12…18 с до 43…50 с), но при этом адгезия покрытия ухудшается (с 0 до 3 баллов).

При добавлении гидроксида магния в эмаль до 10%, наблюдалось повышение температуры воспламенения покрытия (со 110…120ºС до 165…171ºС), а время его сопротивления воспламенению увеличивалось (с 12…18 с до 27…30 с). Добавление более 10% гидроксида магния в состав эмали привело к последующему снижению температуры воспламенения покрытия (со 165…171ºС до 130…136ºС) и снижению времени сопротивления воспламенению (с 27…30 до 24…26 с), при сохранении адгезии в 1 балл.

Таким образом, за счет применения гидроксида магния, возможно добиться повышения огнестойкости покрытия (температура воспламенения до 170°С и более) и при этом сохранить его физико-механические свойства.

Если гидроксид алюминия и магния являются общеизвестными добавками для повышения огнестойкости, то использование нанопорошка оксида висмута ($Bi_2O_3$) носит пока экспериментальный характер [10]. В таблице 1 представлены результаты исследований.

Таблица 1 – Результаты испытаний Оксида висмута

| Содержание $Bi_2O_3$ в ЛКМ, % | Средняя толщина, мкм | Твердость по Шору | Адгезионная прочность, МПа | Температура воспламенения, °С | Время до воспламенения, с |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 50…52 | 63…65 | 2,5…2,7 | 110…120 | 12…18 |
| 0,5 | 52…54 | 62…67 | 2,7…2,9 | – | – |
| 1 | 61…65 | 81…88 | 3,0…3,2 | – | – |
| 2,5 | 62…66 | 76…82 | 3,1…3,4 | 130…142 | 15…20 |
| 5 | 67…72 | 86…94 | 3,3…3,6 | 137…152 | 19…24 |
| 7,5 | 68…70 | 67…75 | 3,2…3,4 | 225…240 | 57…65 |
| 10 | 73…75 | 69…73 | 3,1…3,3 | – | – |

Анализируя полученные результаты, можно констатировать, что при достижении концентрации оксида висмута 5 % наблюдается экстремум для значений твердости (86…94) и адгезии (3,3…3,6 МПа) покрытия. В то же время, добавление оксида висмута в концентрации 7,5 % позволило добиться существенного повышения огнестойкости покрытия. Огнестойкость и время воспламенения повысилась до 240°С и 65с соответственно. Также стоит отметить об увеличении толщины покрытия при его модификации оксидом висмута.

При проведении термомеханических исследований наномодифицированного покрытия с оксидом висмута, определено, что введение 5 % оксида висмута (рисунок 2, кривая 4) способствует повышению термостабильности покрытия и переводу точки текучести покрытия на 35–-40°С выше контрольного образца, что свидетельствует об усиливающем влиянии данной добавки на покрытие в целом. Следует дополнительно отметить существенное снижение величины деформации, которая, по сравнению с контрольным образцом, уменьшается почти в два раза.

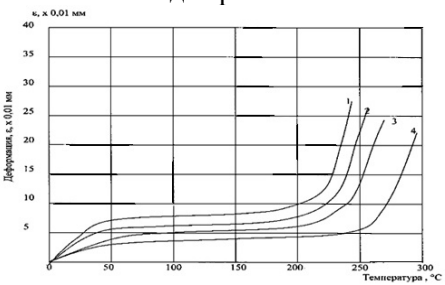



Рисунок 2 – Термомеханические кривые модифицированного покрытия добавками оксида висмута: 1 – без добавок; 2 – с добавкой 1% $Bi_2O_3$; 3 – то же, с добавкой 10% $Bi_2O_3$; 4 – с добавкой 5% $Bi_2O_3$

Полученные результаты позволяют говорит о том, что применение наноразмерных частиц оксида висмута перспективно в плане получения долговечного покрытия с повышенной огнестойкостью и физико-механическими свойствами.

Известно, что предварительная обработка поверхности перед нанесением защитных покрытий составами на основе нанодобавок позволяет добиться улучшения физико-механических свойств покрытия, а соответственно способствует лучшей защите от коррозии [8]. С этой целью определено, что наибольший эффект можно достичь при применении состава кремнезоля с углеродными нанотрубками. За счет предварительной обработки таким составом образуются более однородные и менее дефектные структуры при контакте с металлом. Данный эффект объясняется снижением внутренних напряжений на границе раздела фаз.

На графике (рисунок 3) показано, что совместное влияние кремнезоля и Углеродных нанотрубок обеспечивает смещение температуры текучести покрытия на 25–30°С, что говорит об эффекте совместного действия (кривая 4).

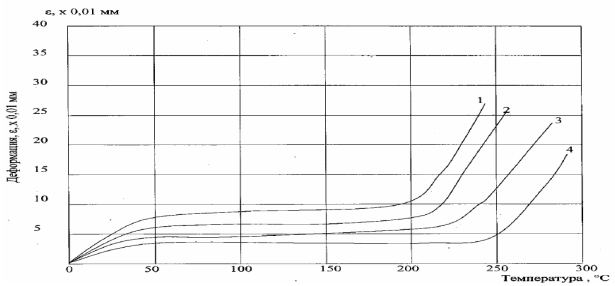



Рисунок 3 – Термомеханические кривые модифицированного покрытия добавками кремнезоля и углеродных нанотрубок от температуры при действии постоянной нагрузки: 1 – без добавок; 2 – с добавкой раствора кремнезоля 5 %; 3 – то же, с добавкой кремнезоля 10 %; 4 – с добавкой кремнезоля и УНТ.

По результатам проведенных на сегодняшний день теоретических и экспериментальных исследований можно сказать, что решение вопросов обеспечения эксплуатационных качеств защитных покрытий для различных условий возможно решить путем нахождения оптимальных составов нанодобавок в покрытиях.

Список использованных источников

1. Хрянин В.Н., Пчельников А.В. 2019. Исследование износостойкости лакокрасочных покрытий рабочих органов сельскохозяйственных машин. *Ремонт. Восстановление. Модернизация.* № 7. С. 44–48.

2. Zabara, K., Shpak, A., Shemyakin, A., Melkumova, T., Morozova, N., Podyablonskiy, A. 2020. *Prevention of corrosion fracture of agricultural equipment during storage*. E3S Web of ConferencesVolume 164, 5 May 2020, pp. 060022019.

3. Пчельников А.В., Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Волобой Е.А. 2020. Моделирование процесса и способы оценки горения защитных покрытий металлических конструкций и оборудования. *Известия вузов. Строительство.* №6 (738) с.81-90.

4. Xue, H., Ye, Y., Li, X., Xia, J., Lin, Q. 2020. *Nano-silica modification of UV-curable EVA resin for additive manufacturing*. Polymer Engineering and ScienceVolume 60, Issue 7, Pp 1579-1587.

5. Шашок, Ж.С. Применение углеродных наноматериалов в полимерных композициях / Ж. С. Шашок, Н.Р. Прокопчук. – Минск : БГТУ, 2014. – 232 с. – ISBN 978-985-530-317-7.

6. Myronyuk, O.V. , Raks, V.A. , Baklan, D.V. , Barrat, S, Arranda, L. , Yezhov, S. , Kara, H. 2020. *Aspects of the reduction of the coating fire resistance by the use of nanosized additives.* Applied Nanoscience (Switzerland). Volume 10, Issue 12, Pp. 4901–4907.

7. Smirnova O.E., Pichugin A.P., SebelevI.M. 2020. Research of pressed thermal insulation materials, based on organic waste . *В сборнике: IOP conference series: materials science and engineering. XIII International Scientific Conference Architecture and Construction* С. 012051.

8. Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Смирнова О.Е., Пчельников А.В., Шаталов А.А. 2021. *Реконструкция водогрязелечебницы архитектурного ансамбля курорта «Озеро Карачи». Жилищное строительство.* № 1–2. С. 26–33

9. Гуськов Ю.А., Хрянин В.Н., Пчельников А.В., Железнов А.А. 2016. Исследование систем лакокрасочных покрытий, применяемых при окрашивании сельскохозяйственной техники, на сопротивление истиранию. *Достижения науки и техники АПК.* Т. 30. № 11. С. 118-120.

10.Riente, P.,Fianchini, M., Llanes, P., Pericàs, M.A., Noël, T. 2021. *Shedding light on the nature of the catalytically active species in photocatalytic reactions using $Bi_2O_3$ semiconductor*. Nature CommunicationsVolume 12, Issue 1. p.625.

## СОДЕРЖАНИЕ

*Секция 1 – Технический сервис машин и оборудования*


1. **Герасимов В.С., Соломашкин А.А., Тишанинов И.А., Градов Е.А.**
Обеспечение контроля скорости изнашивания деталей силовых установок сельскохозяйственных машин . . . . . 3

2. **Федотов А.В., Дорохов А.С.**
Наноструктурный оксигидроксид алюминия для технического сервиса машин . . . . . 8

3. **Muhammad Bello Garba, Nuruddeen Abdullahi, Umar Ahmad Muhammad**
Physical and mechanical properties of peanut pods and kernels for post-harvest threshing process . . . . . 14

4. **Верченко Е.А., Копылова В.А., Романченко М.И.**
Технология восстановления и упрочнения гильз цилиндров . . . . . 22

5. **Кривцов С.Н., Деньгин И.Д.**
Использование показаний бокового ускорения блока как диагностических данных . . . . . 26

6. **Домнышев Д.А., Тихоновский В.В., Курносов А.Ф., Долгушин А.А., Сацкевич Н.Е., Бультроков И.В., Домнышева В.В., Епишев Р.Е., Иванов Л.В.**
Обеспечение надежного запуска двигателя грузового автомобиля при низких температурах за счет использования теплоты отработавших газов предпускового подогревателя 18ЖД24 . . . . . 33

7. **Толочко Н.К., Авраменко П.В., Кравцов В.Б.**
Изготовление металлических деталей машин и формообразующей оснастки с помощью аддитивных технологий . . . . . 39

8. **Курносов А.Ф., Гуськов Ю.А.**
Влияние неравномерности работы цилиндров двигателя в режиме холостого хода на величину реакций опор . . . . . 45

9. **Сахнов А.В., Хихлушка А.В.**
Разработка стенда-кантователя для разборки и сборки двигателей внутреннего сгорания . . . . . 50

10. **Федюнин П.И., Сырбаков А.П., Речкин С.В.**
Предпусковая тепловая подготовка дизельных двигателей с применением жидкостных тепловых аккумуляторов . . . . . 54

11. **Чудинов, А.М.**
Механизм герметизации уплотнений гидроцилиндров . . . . . 61

12. **Карташевич А.Н., Гордеенко А.В., Белоусов В.А.**
Способы улучшения эксплуатационных свойств дизельного топлива . . . . . 65

13. **Оберемок В.А., Аванесян А.М., Ракита Р.Ю.**
Исследование влияния коэффициента трения на работу барабанного тормозного механизма . . . . . 71

14. **Жданко Д.А., Лапиков М.А., Солодкин М.М.**
Оценка технического состояния аксиально-плунжерных агрегатов гидропривода по объемному коэффициенту полезного действия . . . . . 76

15. **Шевченок А.А., Королевич М.В., Болодон В.Н., Сорока Д.И.**
Исследование интенсивности изнашивания композиционных керамик на основе оксидов алюминия и циркония для насадок пескоструйных машин и форсунок опрыскивателей . . . . . 81

16. **Крук И.С., Карпович С.К., Анищенко А.А.**
Методика оценки технического состояния полевых опрыскивателей . . . . . 87

17. **Тарасенко В.Е., Мухля О.О., Жешко А.А.**
Дооснащение диагностического стенда до уровня тестирования насос-форсунок (UIS) и насосных секций (UPS) . . . . . 92

18. **Корнеева В.К., Капцевич В.М., Закревский И.В., Спиридович П.М., Остриков В.В.**
Экспресс-метод определения водородного показателя *pH* в условиях предприятий АПК . . . . . 99

19. **Акулович Л.М., Сергеев Л.Е., Стрига М.В.**
Моделирование топографии магнитного поля при магнитно-абразивной обработке деталей сферической формы . . . . . 103

20. **Анискович Г.И., Шевчук М.А.**
Формирование структуры при импульсной закалке среднеуглеродистых конструкционных сталей . . . . . 108

21. **Тарасенко В.Е., Мухля О.О., Жешко А.А.**
Анализ стендов для тестирования насос-форсунок автотракторных двигателей . . . . . 113

22. **Круглый П.Е., Кашко В.М., Мисун А.Л., Круглый П.С.**
Исследование и анализ потоков требований на обслуживание кормоуборочных комбайнов при организации их технического сервиса . . . . . 120

23. **Щурин К. В., Шаромето Д. Б.**
Планирование системы технического обслуживания мобильных машин с учетом технической жесткости климата. . . . . 126

24. **Городецкая Е.А.**
Факторы надежности в эксплуатации диэлектрических сепараторов . . . . . 136

25. **Стребков С.В.**
Восстановление анкера глубокорыхлителя . . . . . 139

26. **Большаков В.И., Федоров О.С., Ваганов Д.И.**
Микроструктурный и химический анализ наплавленных слоев металла при высокоскоростной электродуговой наплавке . . . . . 146

27. **Сергиевич О.А., Колонтаева Т.В., Шевченок А.А., Дятлова Е.М.**
Износостойкие керамические материалы для машиностроительной отрасли . . . . . 152

28. **Основин В.Н., Драгун С.Н., Климкович К.Д.**
Теоретические аспекты организации агротехнического сервиса машин и оборудования молочных скотоводческих ферм и комплексов . . . . . 158

29. **Щитов С.В., Кузнецов Е.Е., Сурин Р.О., Маршанин Е.В., Леонов В.В.**
Обеспеченность средствами механизации предприятий-сельхозпроизводителей в амурской области . . . . . 166

30. **Романюк Н.Н., Агейчик В.А., Нукешев С.О., Еднач В.Н., Гильдюк К.В., Гошко И.А.**
К вопросу совершенствования конструкции плоскореза-глубокорыхлителя-удобрителя . . . . . 174

31. **Романюк Н.Н., Эвиев В.А., Агейчик В.А., Еднач В.Н., Вольский А.Л.,**
Оригинальное устройство для выкапывания лука . . . . . 180

32. **Романюк Н.Н., Агейчик В.А., Нукешев С.О., Еднач В.Н., Логвинович П.Н., Гильдюк К.В., Гошко И.А.**
Разработка конструкции машины для внесения жидких удобрений в почву . . . . . 188

33. **Романюк Н.Н., Агейчик В.А., Нукешев С.О., Еднач В.Н., Логвинович П.Н., Гильдюк К.В., Гошко И.А.**
К вопросу совершенствования конструкции устройства для внесения минеральных удобрений . . . . . 194

34. **Чигарев Ю.В., Крук И.С., Ракова Н.Л., Воробей А.С.**
К оценке неравномерностей колебаний приводов рабочих органов сельскохозяйственных машин . . . . . 200

35. **Щурин К.В., Романюк Н.Н., Еднач В.Н., Паныш Ю.Н.**
Обоснование параметров процесса магнитной активации углеводородных топлив . . . . . 204

36. **Крук И.С., Анищенко А.А.**
Инновационные технологии внесения пестицидов в растениеводстве . . . . . 215

37. **Еднач В.Н., Романюк Н.Н., Пырх А.С., Еднач А.В.**
К вопросу использования экзоскилетов в АПК . . . . . 221

38. **Мисун А.Л., Данцевич И.И., Ильиных Н.А.**
К вопросу безопасности функционирования системы «человек-машина» на уборке кормовых культур . . . . . 225

39. **Мисун А.Л., Данцевич И.И., Ильиных Н.А.**
Техническое решение для повышения производственной безопасности транспортных работ в сельскохозяйственном производстве . . . . . 229

40. **Ляхов А.П., Станкевич А.Ф.**
К вопросу определения касательной силы тяги и буксования движителя трактора . . . . . 232

41. **Вабищевич А.Г., Янцов Н.Д., Бакиров А.А.**
3D моделирование малогабаритных косилок . . . . . 239

42. **Брусенков А.В.**
Опыт эксплуатации поточно-технологической линии приготовления корнеплодов на молочной ферме . . . . . 243

43. **Дубровский, А.А.**
Применение светодиодных систем освещения с измененным спектральным составом для выращивания рассады томатов в условиях защищенного грунта . . . . . 249

44. **Мануйленко А.Н., Вендин С.В.**
Электрический озонатор воздуха на основе коронного разряда для производственных помещений . . . . . 253

45. **Сахнов А.В., Савельев Е.А.**
Пневматический высевающий аппарат сеялки точного высева . . 259

46. **Романюк Н.Н., Агейчик В.А., Еднач В.Н.**
К вопросу совершенствования конструкции распределительной головки пневматической зерновой сеялки . . . . . 264

47. **Сурин Р.О., Щитов С.В., Кузнецов Е.Е., Поликутина Е.С.**
К вопросу снижения энергетических затрат при использовании комбинированной сельскохозяйственной машины на полевых работах . . . . . 268

48. **Яковлев Д.А., Анфимов В.В.**
Обоснование методов кондуктометрии при проведении анализа физико-химических свойств почвы . . . . . 274

49. **Орда А.Н., Шкляревич В.А.**
Повышение приспособляемости гусеничного движителя к почвенным условиям эксплуатации . . . . . 280

50. **Орда А.Н., Шкляревич В.А.**
Уплотняющее воздействие ходовых систем машинно-тракторных агрегатов на почву . . . . . 286

51. **Еднач В.Н., Жилич Е.Л., Рогальская Ю.Н.**
Теоретические предпосылки к обоснованию величин вакуум-метрического давления в существующих доильных аппаратах . . . 292

52. **Еднач В.Н., Жилич Е.Л., Рогальская Ю.Н.**
Конструктивные параметры разрабатываемого доильного стакана . . . . . 295

53. **Еднач В.Н., Жилич Е.Л., Рогальская Ю.Н., Никончук В.В.**
Значение величины вакуумметрического давления в камерах разрабатываемого доильного стакана . . . . . 298

54. **Основин В.Н., Сергеев К.Л., Еднач В.Н.**
Действующая модель конструкции привода рабочего органа машины . . . . . 301

55. **Мисуно О.И.**
Перспективные конструкции отвалов оборотных плугов . . . 306

56. **Андрушевич А.А., Садоха М.А.**
Пути инновационного развития литейного производства в сельскохозяйственном машиностроении РБ . . . . . 312

57. **Калиниченко М.Л.**
Разработка модельных комплектов для литейных участков райсельхозтехники . . . . . 316

58. **Андрушевич А.А., Калиниченко В.А.**
Формирование структуры подшипников скольжения из металлических композиционных материалов для нужд сельскохозяйственной техники . . . . . 321

59. **Колоско Д.Н., Жилич Е.Л., Рогальская Ю.Н., Никончук В.В.**
Автоматизация в молочной промышленности посредством применения комплексных систем . . . . . 327

60. **Колоско Д.Н., Жилич Е.Л., Рогальская Ю.Н.**
Применение метода термографии при исследование молочной железы коров . . . . . 329

61. **Еднач В.Н., Ракова Н.Л., Пантелеева Ж.И.**
К вопросу расчета динамического удара при работе бокового авторазгрузчика . . . . . 332

62. **Баскакова В.В., Голочалова А.В.**
Применение электронных образовательных ресурсов при изучении дисциплин учебного плана в аграрном ВУЗе . . . . . 336

63. **Паркалов И.В., Жилич Е.Л., Цалко С.А., Еднач В.Н.**
Экструдированная углеводная добавка в рационах кормления пушных зверей . . . . . 338

64. **Пчельников А.В., Пичугин А.П., Хрянин В.Н.,**
Разработка наномодифицированных защитных покрытий для машин и оборудования АПК . . . . . 341

Научное издание

# СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА В АПК

Материалы Международной
научно-практической конференции

*(Минск, 24–25 ноября 2022 года)*

Ответственный за выпуск *Д. А. Жданко*
Компьютерная верстка *П. Н. Василевского*
Дизайн обложки *Д. А. Пекарского*

Подписано в печать 30.12.2022. Формат $60\times84^{1}/_{16}$.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 20,69. Уч.-изд. л. 16,18. Тираж 30 экз. Заказ 830.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/359 от 09.06.2014.
№ 2/151 от 11.06.2014.
Пр-т Независимости, 99–1, 220023, Минск.