

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Саратовский государственный университет генетики,
биотехнологии
и инженерии имени Н.И. Вавилова»**

Институт инженерии и робототехники

**Материалы XXXIX Международной
научно-технической конференции
имени В.В. Михайлова
«ПРОБЛЕМЫ ЭКОНОМИЧНОСТИ И
ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ»**



**г. Саратов
2026**

УДК 621.43.01(082)

ББК 31.365

П 78

Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: Материалы Международной научно-технической конференции имени В.В. Михайлова. – Вып. 39. – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2026. – 279 с.

ISBN 978-5-7011-0919-1

В сборнике представлены материалы докладов участников XXXIX Международной научно-технической конференции имени В.В. Михайлова «Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники», проходившей 20, 21 мая 2026 года на базе ФГБОУ ВО Вавиловский университет. В статьях рассмотрены общетеоретические и прикладные вопросы эксплуатации, ремонта, диагностирования, применения цифровых технологий в сельском хозяйстве, совершенствования конструкции автотракторной и сельскохозяйственной техники, а также результаты современных исследований специалистов в растениеводстве и механизации сельского хозяйства. Материалы статей имеют научно-практическое значение и предназначены для инженеров, преподавателей, научных работников. Они будут полезны обучающимся старших курсов вузов, магистрантам, аспирантам, докторантам.

Материалы изданы в авторской редакции

УДК 621.43.01(082)

ББК 31.365

ISBN 978-5-7011-0919-1

© ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2026

© Авторы статей, 2026

Рецензенты:
доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры технического сервиса машин
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарева»
С. А. Величко
кандидат технических наук, профессор,
профессор кафедры технического сервиса в АПК
ФГБОУ ВО Белгородского ГАУ
С. В. Стребков

Научные направления конференции:

- Методы улучшения основных показателей двигателей внутреннего сгорания;
- Восстановление и упрочнение деталей автотракторной техники;
- Разработка методов и средств использования альтернативных источников энергии;
- Эксплуатация и ремонт автотракторной техники и сельскохозяйственных машин;
- Цифровые технологии в сельском хозяйстве;
- Диагностика машинно-тракторного парка и средства автоматизации;
- Трибологические аспекты повышения ресурса машин и оборудования;
- Новые машиностроительные материалы и технологии их получения;
- Наноматериалы и нанотехнологии в машиностроении;
- Технологии и средства механизации сельского хозяйства;
- Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве.

СОДЕРЖАНИЕ

МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В.А. Стрельников

Исследование эффективности нейтрализаторов отработавших газов
на различных режимах работы дизеля 6

ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

*С.А. Шишурун, П.А. Горбушин, И.С. Исмаилов, Д.П. Степаненко,
Г.Г. Долгополов*

Анализ способов восстановления деталей сельскохозяйственной
техники гальваническими покрытиями 12

В.В. Чекмарев, А.А. Кателин

Анализ и классификация способов упрочнения рабочих органов
почвообрабатывающих орудий 18

*С.В. Сыроежкин, А.П. Теплов, Е.А. Миронова, Г.Г. Долгополов,
Д.П. Степаненко*

Модификация железных гальванических покрытий
нанодисперсными добавками 31

*П.А. Горбушин, К.А. Литвинюк, А.А. Мушкенов,
Д.П. Степаненко, Г.Г. Долгополов*

Восстановление деталей сельскохозяйственной техники
композиционными наплавочными материалами 33

*А.Г. Кабие, Д.Е. Юдин, Е.А. Миронова, Г.Г. Долгополов,
Д.П. Степаненко*

Исследование микротвердости и износостойкости композиционных
гальванических покрытий 39

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Д.А. Уханов, А.П. Уханов

Оценка влияния биокеросина на параметры топливоподачи
автомобильного дизеля 40

Д.А. Уханов, В.Ю. Быстров, Ю.А. Гольцев, И.Д. Глазунов

Расчетно-экспериментальное обоснование параметров
топливоподачи, показателей рабочего процесса, индикаторных и
эффективных показателей дизеля при его работе на бионефтяной
композиции 51

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Д.В. Зайцев, С.А. Величко

Микрометражные исследования деталей запорного органа клиновых задвижек систем водоснабжения АПК 64

Б.А. Кенжегалиев, М.К. Уразгалиева

Информационная поддержка технического обслуживания и ремонта грузовых автомобилей 71

И.Н. Кравченко, А.Ю. Башко, Ю.А. Кузнецов, С.А. Феськов

Технологические и логистические аспекты первичной переработки изношенных автомобильных шин 77

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

А.Е. Беккалиев

Цифровизация процессов технического обслуживания автотракторного парка сельскохозяйственных предприятий 85

Н.Б. Хайрова

Инновационные цифровые решения для повышения эффективности аграрного производства 90

А.Н. Морунков, И.А. Морунков

Применение цифровых технологий при фиксации простоев техники . 95

ДИАГНОСТИКА МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКА И СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ

С.А. Гребенников, А.С. Гребенников, А.В. Рогожин

Взаимосвязь ресурса двс со степенью неравномерности технического состояния его одноименных деталей 100

Н.Р. Бекбулатов, Н.А. Шерстнев

Разработка современных методов и средств бортового диагностирования двс по мощности и крутящему моменту 107

Р.Д. Гончаров

Использование телеметрических данных для прогнозирования технического состояния мобильных энергетических средств в АПК .. 113

С.А. Шишурин, А.Д. Исаев

Комплексный метод обнаружения загрязняющих веществ в гидравлическом масле на основе импедансной спектроскопии 116

В.В. Венскийтис

Совершенствование диагностического обеспечения центробежных насосов промышленных теплиц за счет уточнения границ зон вибрационного состояния 122

Ю.А. Коцарь, О.В. Кабанов, Е.О. Кабанов

Интеллектуальная система управления для гусеничного трактора с гидростатической трансмиссией 129

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

В.К. Корнеева, В.М. Капцевич, Е.И. Селицкий, И.С. Королец

Колориметрический анализ хроматограмм моторного масла лукойл авангард 10W-40 в цветовом пространстве *HSV* 135

<i>В.В. Сафонов, Д.В. Курдюков, К.В. Сафонов, В.Р. Феденко, В.О. Пыхтеев, А.С. Чернышов</i>	
Методика и результаты исследований изменения физико-химических характеристик моторных масел под действием наноразмерных порошкообразных добавок	140
<i>Н.А. Шерстнев, А.Т. Кулаков, И.Р. Фахруллин</i>	
Перевод системы смазки двигателей КАМАЗ-740 на апериодический режим регулирования давления: физико-математическое обоснование инженерного решения	147
ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА	
<i>В.В. Васильчиков, А.С. Николаев, Д.А. Пономарев</i>	
Повышение эффективности погрузочно-разгрузочного процесса при погрузке мягких контейнеров за счет применения автоматизированного грузо-захватного устройства	155
<i>Е.Е. Демин, П.И. Павлов, С.А. Шишурин, Г.Е. Шардина, М.Д. Винокурова</i>	
Технологическая схема контейнерной сушки семян зерновых культур	161
<i>С.А. Макаров, Е.Е. Демин, Д.С. Гиевой, М.Д. Винокурова</i>	
Технологическая схема производства вермикомпоста в вермиинкубаторе	166
<i>Г.В. Левченко, В.С. Павлов, А.В. Левченко</i>	
Классификация пневмотранспортных установок для зерна	171
<i>В.Б. Ловкис, Т.А. Непарко, Н.Н. Быков</i>	
Формирование валков ленточным валкователем	175
<i>В.Б. Ловкис, Т.А. Непарко, Н.Н. Быков</i>	
Исследования параметров ленточного валкователя	181
<i>А.И. Рязанцев, И.В. Малько, А.О. Антипов, Е.Ю. Евсеев</i>	
Совершенствование технологии полива широкозахватными дождевальными машинами на сложном рельефе	187
<i>П.И. Павлов, А.А. Леонтьев, И.П. Павлов, А.С. Куренков</i>	
Обоснование режимных параметров погрузчика непрерывного действия с лопастным питателем	193
<i>П.И. Павлов, В.А. Курунин, Н.А. Попов</i>	
Анализ условий эксплуатации конвейерного транспорта при перевалке масличных культур	199
<i>П.И. Павлов, Д.А. Смотряков, И.Л. Дзюбан, А.В. Никулин</i>	
Производительность поршневого пресса при формировании субстратного блока для выращивания грибов	204
<i>С.А. Шишурин, П.И. Павлов, Е.Е. Демин, Г.Е. Шардина, В.В. Васильчиков</i>	
Сушилка для семян зерновых культур	209

М.А. Приданов, С.А. Макаров	
Разработка шагового транспортёра для модульной установки производства вермикомпоста	212
Б.Д. Сарбалина	
Совершенствование эксплуатации техники для уборки навоза как фактор снижения затрат	217
В.М. Бойков, Е.С. Нестеров, С.В. Старцев, А.В. Павлов	
Исследование нового экспериментального плуга	225
С.В. Старцев, А.В. Павлов, Е.С. Нестеров	
Использование мощности тракторов 200-250 кВт на пахотных работах	230
С.В. Старцев, А.В. Павлов, Е.С. Нестеров	
Технологии обработки почвы для посева озимых культур в Поволжье. Занятый пар. Часть III	238
А.Е. Турешова	
Исследование и классификация технических решений рабочих органов посадочных машин	246
А.С. Фирсов, К.Ю. Ключева	
План факторного опыта сеялок для посева льна долгунца	252
С.С. Алексеев, Г.Е. Шардина, Е.Е. Демин	
Изыскание рациональной технологической схемы высевяющего аппарата селекционной сеялки	259
С.С. Алексеев, Г.Е. Шардина, Е.Е. Демин	
Поиск путей воспроизводства семенного фонда	263
А.В. Данилин, И.В. Шишкин, В.С. Силкин	
Анализ технологий послеуборочной обработки сеянного материала в семеноводстве	266
С.А. Шишурин, Д.С. Маяков, Е.А. Миронова	
Современные требования к селекционным сеялкам в системе первичного семеноводства	270
В.В. Васильчиков, Д.А. Николаев, В.Е. Фокин, К.С. Просвирнин	
Разработка стенда для циклических испытаний цилиндрических пружин с применением системы автоматизированного контроля параметров	274

МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Научная статья

УДК 621.436.068.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕЙТРАЛИЗАТОРОВ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ НА РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ ДИЗЕЛЯ

В.А. Стрельников

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация: в статье приведены результаты стендовых испытаний дизеля Д-240, оборудованного нейтрализаторами отработавших газов (ОГ) ЭТКН и УСТ. Рассмотрено влияние режимов работы дизеля, оборудованного нейтрализаторами ОГ, на степень очистки отработавших газов от токсичных компонентов (ТК). Математически обоснован суммарный коэффициент эффективности очистки ОГ нейтрализатором. Предложено выражение коэффициента суммарной эффективности нейтрализатора K в аналитическом виде. Степень очистки ОГ по основным ТК составила в среднем: по СО – 60...70%, по NO – 30...35%, по сажевым частицам – 30...40%.

Ключевые слова: отработавшие газы дизелей, режимы работы дизеля, токсичные компоненты ОГ, коэффициент суммарной эффективности нейтрализатора.

Original article

RESEARCH OF THE EXHAUST GASES CONVERTERS EFFICIENCY DURING DIESEL ENGINE OPERATION ON THE DIFFERENT REGIMES

V.A.Strelnikov

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I.Vavilov, Saratov, Russia

Abstract: the results of bench tests of diesel engine D-240 equipped with the converters “ЭТКН” and “УСТ” is given. The article considers the influence of the different operation regimes of the diesel equipped with the converters on the degree environmental pollution because of diesel exhaust gases (EG). The article mathematically substantiates the integral criterion of the diesel engine converter efficiency K in analytic form. The degree of exhaust gases purification from toxic components (TC) is on average : CO – 60...70%, NO – 30...35%, for soot particles – 30...40%.

Keywords: diesel exhaust gases, diesel operation regimes, toxic components, integral criterion of the diesel engine converter efficiency.

В лаборатории ФГБОУ ВО Вавиловский университет были проведены стендовые испытания дизеля Д-240, оборудованного нейтрализаторами отработавших газов (ОГ) ЭТКН и УСТ [1,2], разработанными под руководством автора статьи. Целью исследования являлось установление зависимостей изменения коэффициентов очистки ОГ от токсичных компонентов (ТК) при изменении скоростных и нагрузочных режимов работы дизеля, что характеризует эффективность работы нейтрализатора ОГ.

На рисунке 1 представлена зависимость степени очистки ОГ от оксидов азота NO_x и углерода СО от температуры ОГ при установке нейтрализатора на дизеле Д-240 ($n=1800 \text{ мин}^{-1}$). Известно, что при увеличении нагрузки температура ОГ повышается, что способствует образованию NO_x , имеющих термический характер, однако, при этих температурах более эффективно работает катализатор и, благодаря этому, степень очистки увеличивается. При дальнейшем росте температур коэффициент очистки снижается ввиду роста количества NO_x и стабилизации показателей работы катализатора. При этом количество оксидов углерода СО в ОГ уменьшается, т.к. при увеличении температуры ОГ происходит более полное их выгорание. Если анализировать работу дизеля по нагрузочной характеристике ($n=1800 \text{ мин}^{-1}$), представленной на Рис.2, то можно видеть увеличение коэффициента очистки ЭТКН по оксидам углерода СО с 0,1 на режиме холостого хода до 0,42 при эффективной мощности дизеля $N_e=48 \text{ кВт}$. По графику можно видеть также, что зависимость эта нелинейная и близкая к экспоненте. В диапазоне от режима холостого хода до 12 кВт коэффициент очистки по оксидам углерода K_{CO} практически не изменяется. А затем в диапазоне 25...40кВт коэффициент очистки интенсивно растет практически по линейной зависимости, а затем (после 40 кВт) стабилизируется. Если сравнить характер изменения коэффициента очистки по оксидам углерода для нейтрализаторов ЭТКН и УСТ, то можно видеть, что при эффективной мощности дизеля, превышающей 25кВт, коэффициент очистки по оксидам углерода у ЭТКН на 30% выше, чем у УСТ, причем эта разница увеличивается с ростом эффективной мощности дизеля. Это позволяет сделать вывод о большей эффективности ЭТКН по сравнению с УСТ.

Для оценки эффективности нейтрализатора, т.е. степени очистки ОГ дизеля от токсичных компонентов в зоне установки катализатора (каталитической зоне) необходимо ввести коэффициент очистки K_T :

$$K_T = (C_{i\text{вхн}} - C_{i\text{выхн}})/C_{i\text{вхн}},$$

где $C_{i\text{вхн}}$, $C_{i\text{выхн}}$ - концентрации i - ой токсичной компоненты, соответственно, на входе и выходе из нейтрализатора.

Известно, что установка нейтрализатора ОГ в выпускной системе дизеля приводит к увеличению сопротивления истечению ОГ (противодавлению) в выпускном тракте дизеля. В результате этого возрастает и температура ОГ перед каталитической зоной, что интенсифицирует протекание химических реакций окисления по оксидам углерода и, соответственно, снижению концентрации этих компонентов перед каталитическим слоем нейтрализатора.

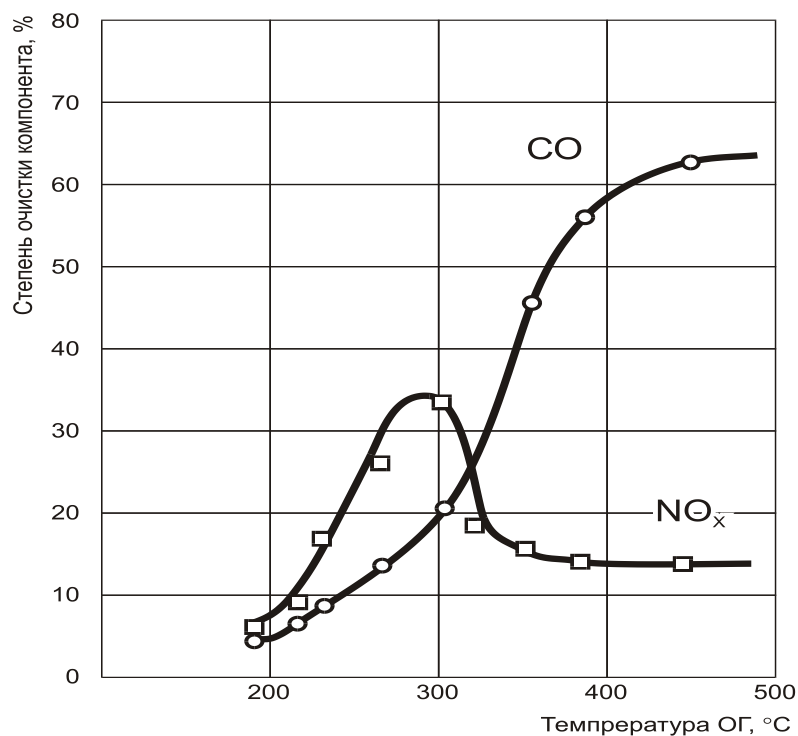


Рисунок 1. Зависимость степени очистки от температуры ОГ

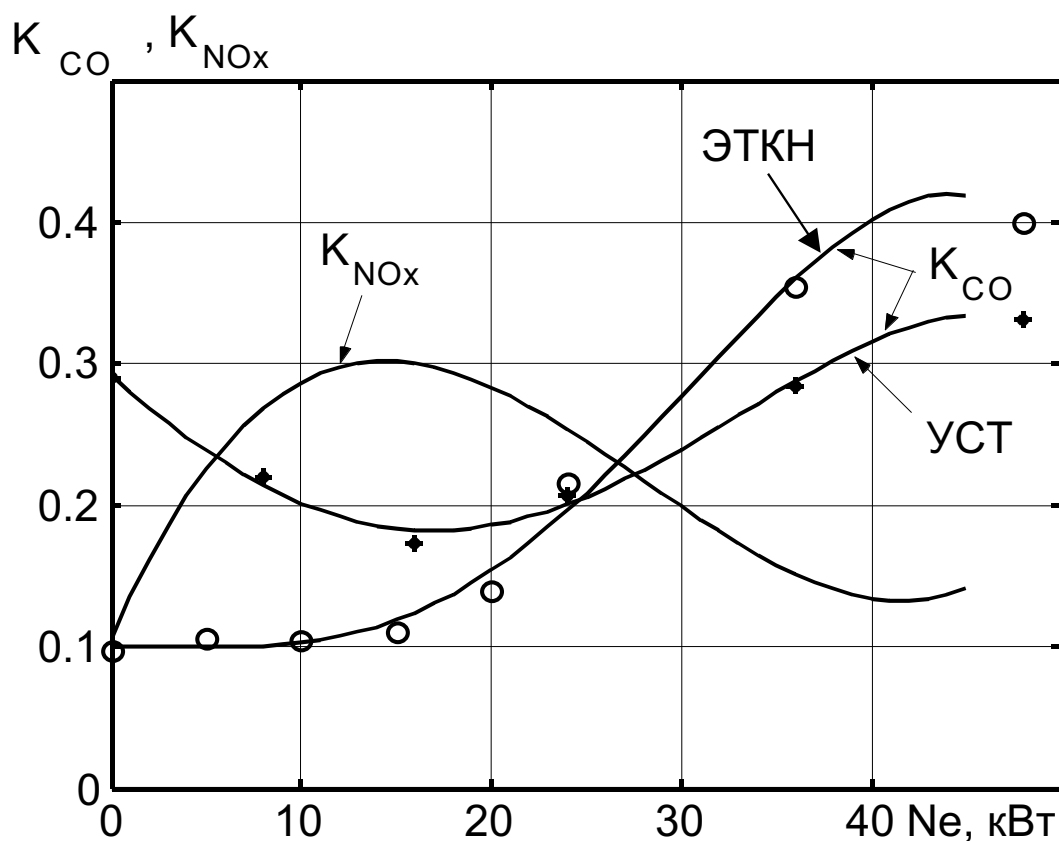


Рисунок 2. Зависимость степени очистки ОГ дизеля Д-240, оборудованного ЭТКН и УСТ по оксидам углерода K_{CO} и оксидам азота (K_{NOx}) для ЭТКН от загрузки двигателя N_e при работе двигателя по нагрузочной характеристике ($n = 1800 \text{ мин}^{-1}$), $\circ$ - степень очистки с ЭТКН, $\ast$ - с УСТ.

Этот эффект можно отнести к процессам термической очистки перед каталитической зоной ЭТКН, и описать коэффициентом очистки K_p , который характеризует степень изменения концентрации D_{Ci} i -ой ТК ОГ в зависимости от изменения противодавления и температуры перед каталитической зоной, и может быть выражен в следующем виде :

$$K_p = (C_{i\text{выхд}} - C_{i\text{вхн}}) / C_{i\text{вхн}} = D_{Ci} / C_{i\text{вхн}},$$

где $C_{i\text{выхд}}$ - концентрация i -ой токсичной компоненты ОГ на выходе из дизеля в случае работы дизеля без нейтрализатора.

Тогда, суммарная или полная оценка эффективности нейтрализатора по очистке ТК в ОГ дизеля будет определяться следующим образом:

$$K = K_t + K_p.$$

На рисунке 3 приведены расчетные и экспериментальные зависимости степени очистки по оксиду углерода с учетом составляющих $K_{T_{CO}}$ и $K_{P_{CO}}$

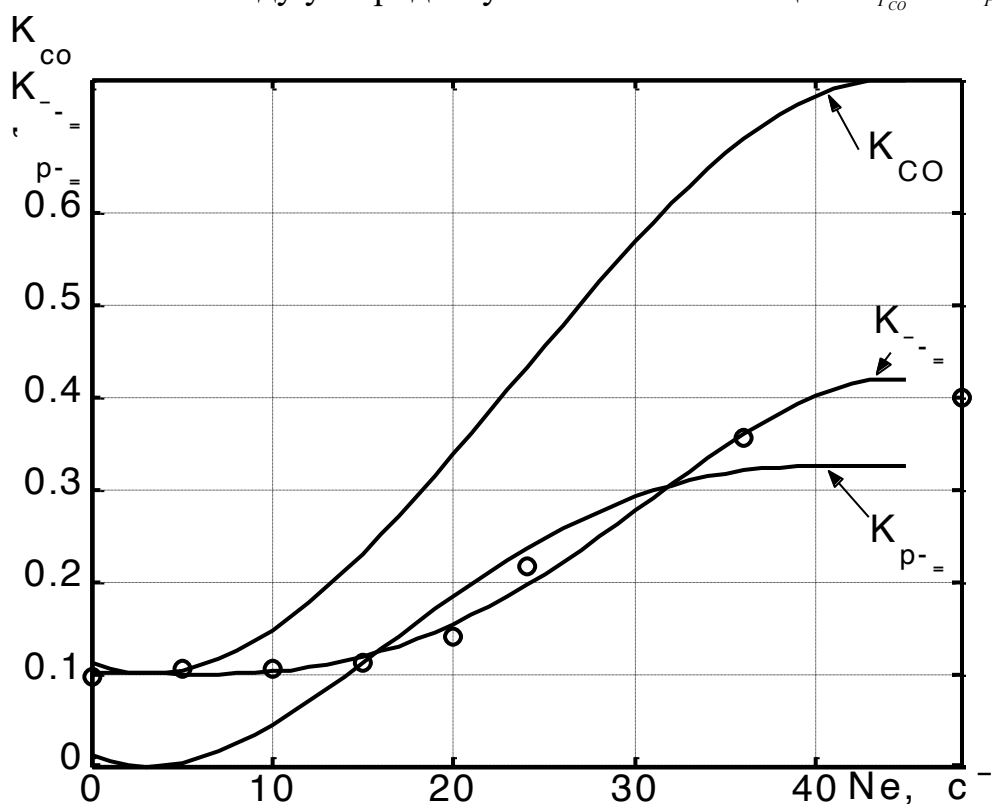


Рисунок 3. Зависимость степени очистки по оксидам углерода (K_{CO} , $K_{T_{CO}}$, $K_{P_{CO}}$) ЭТКН ТК ОГ от эффективной мощности (Ne) при работе дизеля Д-240 по нагрузочной характеристике ($n = 1800 \text{ мин}^{-1}$).

Таким образом, стендовые испытания дизеля Д-240, с установленными в выпускной системе нейтрализаторами ОГ, показали, что разработанные и запатентованные конструкции нейтрализаторов эффективно уменьшают выбросы ТК [3,4,5], причем степень эффективности очистки существенно зависит от режима работы дизеля. Степень очистки ОГ по основным ТК составляет в среднем: по CO – 60...70%, по NO_x - 35...40%, по сажевым частицам - 30...40%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цыпцын В.И., Стрельников В.А., Сухиташвили М.Д., Гришин А.П. Каталитический нейтрализатор отработавших газов дизеля // Патент РФ на изобретение № 2184249. Оpubл. 27.06.2002. Бюл. № 18.
2. Цыпцын В.И., Стрельников В.А., Истомин С.В. Термический нейтрализатор отработавших газов дизеля // Патент РФ на изобретение № 2119065. Оpubл. 20.09.1998. Бюл. № 25.
3. Цыпцын В.И., Стрельников В.А., Истомин С.В. Снижение токсичных выбросов автотракторных дизелей // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2003. - № 4. – С. 22- 23.
4. Истомин С.В., Стрельников В.А. Новые направления повышения экологической безопасности ДВС// Улучшение эксплуатационных показателей двигателей, тракторов и автомобилей / Сборник научных трудов научно – технической конференции . – СПб ГАУ, Санкт – Петербург. - 2002. – С. 191-192.
5. Усанов К.М., Каргин В.А., Мокрушин С.А., Стрельников В.А. Микропроцессорная автоматизированная система управления процессами водоподготовки // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2022. – Том 69, №3(48). – С.76-81.

REFERENCES

1. Tsyptsyn V.I., Strelnikov V.A., Sukhitashvili M.D., Grishin A.P. Catalytic neutralizer of exhaust gases of a diesel engine. The patent of the Russian Federation for invention № 2184249. 27.06.02. Bul. № 18.
2. Tsyptsyn V.I., Strelnikov V.A., Istomin S.V. Thermal neutralizer of exhaust gases of a diesel engine. The patent of the Russian Federation for invention № 2119065. 20.09.98. Bul. № 25.
3. Tsyptsyn V.I., Strelnikov V.A., Istomin S.V. Reduction of toxic emissions of automotive and tractor engines // Mechanization and electrification of agriculture. – 2003. - № 4. – P. 22-23.
4. Istomin S.V., Strelnikov V.A. New ways of improvement of the IC engine ecological safety // Improvement of the operational dates of the engines, tractors and automobiles / Materials of the international scientific – technical conference. – SPbGAU, Saint Petersburg. – 2002. – P. 191-192.
5. Usanov K.M., Kargin V.A., Mokrushin S.A., Strelnikov V.A. Microprocessing automatic control system for water preparation // Electrical technology and equipment in the Agro – Industrial Complex. – 2022. – Vol. 69. - № 3(48). – P. 76-81.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

Научная статья
УДК 621.357

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ГАЛЬВАНИЧЕСКИМИ ПОКРЫТИЯМИ

*С.А. Шишурин, П.А. Горбушин, И.С. Исмаилов, Д.П. Степаненко,
Г.Г. Долгополов*

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии
и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация: в современном ремонтном производстве особую роль необходимо отводить анализу существующих способов восстановления деталей. В статье рассмотрены основные аспекты применения электролитических покрытий как одного из перспективных способов восстановления деталей сельскохозяйственной техники.

Ключевые слова: восстановление, электролиз, электролит, покрытия, хромирование, железнение.

Original article

ANALYSIS OF METHODS OF RESTORATION OF AGRICULTURAL MACHINERY PARTS BY ELECTROPLATING

*S.A. Shishurin, P.A. Gorbushin, I.S. Ismailov, D.P. Stepanenko, G.G.
Dolgoplov*

Saratov State University of genetics, biotechnology and engineering
named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Abstract: in modern repair production, a special role should be given to the analysis of existing methods of restoring parts. The article discusses the main aspects of the use of electrolytic coatings as one of the promising ways to restore parts of agricultural machinery.

Keywords: reduction, electrolysis, electrolyte, coatings, chrome plating, iron plating.

Введение. Электролитическое осаждение металлов основано на явлении электролиза, т.е. окислительно-восстановительных процессах, происходящих в электролите и на электродах (аноде и катоде) при прохождении через электролит постоянного тока [3]. Восстановление поверхности данным способом наращивания не вызывает структурные изменения в деталях, и позволяет устранить незначительные износы [1].

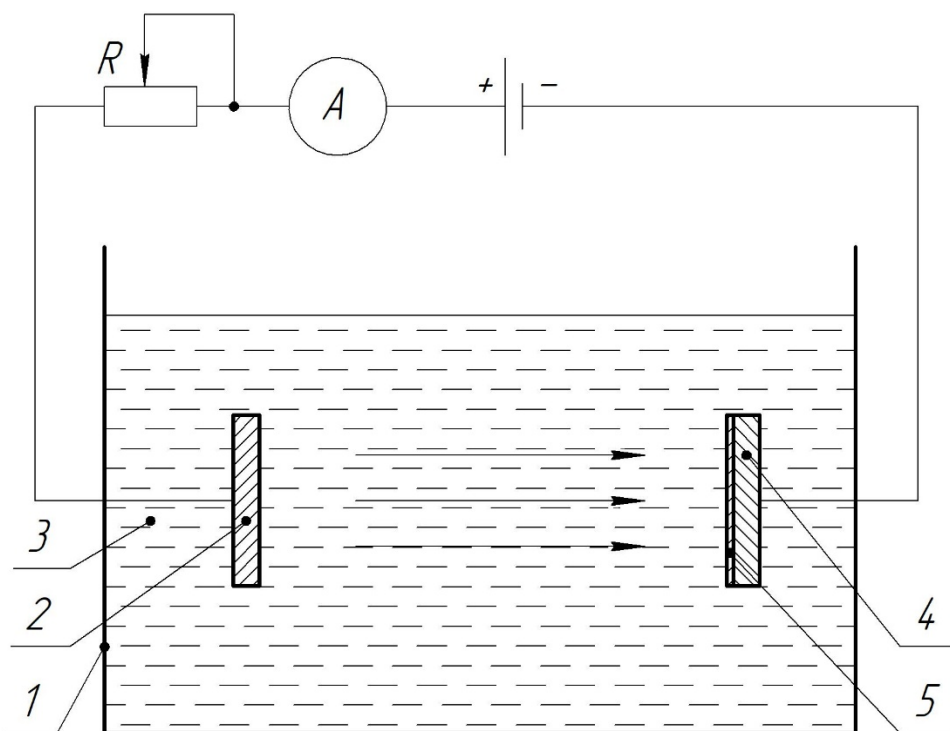


Рисунок 1. Схема принципиальной установки для электролитического осаждения металла: 1 – гальваническая ванна; 2 – анод; 3 – электролит; 4 – катод; 5 – осаждаемое покрытие

Электролитические покрытия при ремонте сельскохозяйственной техники применяют для повышения износостойкости, восстановления изношенных поверхностей деталей (хромирование, железнение и др.), для защиты деталей от коррозии (цинкование, оксидирование, фосфатирование и др.), для защитно-декоративных целей (никелирование, хромирование, цинкование, оксидирование и др.), для специальных целей, в частности улучшения прирабатываемости трущихся поверхностей деталей (меднение, лужение, свинцевание и др.), для защиты от науглераживания при цементации (меднение) [2, 5, 7].

Результаты исследований. Наибольшее применение для восстановления деталей сельскохозяйственной техники получили способы гальванического хромирования и железнения. Рассмотрим их более подробно.

Электролитическое хромирование - процесс осаждение шести или трехвалентного хрома из кислых электролитов при воздействии электрического тока. Преимущества: электролитический хром – металл серебристо-белого цвета с высокой микротвердостью $800...1200 \text{ МН/м}^2$ (в 1,5...2,0 раза выше, чем при закалке ТВЧ), близкой к микротвердости корунда; обладает высокой износостойкостью, особенно в абразивной среде (2...3 раза по сравнению с закаленной сталью); устойчивостью в отношении химических и температурных воздействий; имеет низкий коэффициент трения (на 50% ниже, чем у стали и чугуна); высокую прочность сцепления покрытия с поверхностью детали [3].

Недостатки хромирования: низкий выход металла по току (8...42%); небольшая скорость отложения осадков (0,03 мм/ч); высокая агрессивность

электролита; большое количество ядовитых выделений, образующихся при электролизе; толщина отложения покрытия практически не превышает 0,5 мм; гладкий хром плохо удерживает смазочное масло [6].

Важной особенностью гальванического хромирования является необходимость постоянной корректировки электролита по pH и концентрации солей хрома в электролите, т.к. в качестве анодов здесь выступают нерастворимые свинцовые пластины. В других же способах нанесения гальванических покрытий в качестве анодов выступают пластины из наносимого металла (сталь при железнении, цинк при цинковании, медь при меднении и т.д.).

Состав наиболее применяемых электролитов хромирования и режимы нанесения хромового покрытия представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Состав электролитов и режимы хромирования

Наименование компонентов и параметров	Электролит и условия электролиза		
	Разведенный	Универсальный	Концентрированный
Хромовый ангидрид (CrO_3), г/л	120...150	200...250	350...400
Серная кислота (H_2SO_4), г/л	1,2...1,5	2,0...2,5	3,5...4,0
Температура электролита, °C	40...100	20...60	15...30
Плотность тока, А/дм ²	50...65	45...55	40...50
Выход по току, %	16...18	13...15	10...12

Электролитическое железнение. Этот процесс представляет собой осаждение железа на поверхность детали из кислых растворов солей железа. Он нашел широкое применение при восстановлении деталей с износом от нескольких микрон до 1,5 мм на сторону. Производительность процесса железнения примерно в 10 раз выше, чем при хромировании. Средняя скорость осаждения металла составляет 0,72...1 мкм/с, а выход металла по току равен 85...98% [3].

Одним из существенных недостатков процесса железнения – большое количество водорода в осадке (до 2,5 м² на 1 мкг осадка). Он в осадке находится в различных формах и отрицательно влияет на механические свойства восстановленных деталей. С целью освобождения от водорода в осадке необходимо детали после железнения подвергать низкотемпературному сульфидированию с последующей размерно-чистой обработкой пластическим деформированием. В этом случае усталостная прочность деталей повышается на 40...45%, а износостойкость возрастает в 1,5...2 раза [4].

При восстановлении крупногабаритных деталей сложной конфигурации (блоки цилиндров, картеры коробок передач и задних мостов, коленчатые валы и другие) возникают трудности, связанные с изоляцией мест, не подлежащих

покрытию (площадь их поверхности в десятки раз превышает покрываемую площадь), сложной конфигурацией подвесных устройств, необходимостью иметь ванны больших размеров, быстрым загрязнением электролитов и т.д. Для железнения таких деталей применяют вневаннный способ [2].

Состав наиболее применяемых электролитов железнения и режимы нанесения покрытия железа представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Состав электролитов и режимы хромирования

Наименование компонентов и параметров	Хлористый электролит	Серноокислый (сульфатный) электролит	Железоаммонийный электролит (смесь, хлористого железа с солями)
Основной компонент	Железо двуххлористое ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) – 350...450 г/л	Железо серноокислое ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) – 250...350 г/л	Железо двуххлористое ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) – 250...300 г/л
Дополнительный компонент	Кислота соляная (HCl) – 1...2 г/л	Натрий серноокислый (Na_2SO_4) – 40...60 г/л	Соль железоаммонийная (железные квасцы) – 100...150 г/л
Кислотность среды (pH)	0,5...1,2	0,8...1,5	0,8...1,2
Температура электролита, °C	70...95	50...65	50...70
Катодная плотность тока А/дм^2	10...50	5...15	10...30
Выход по току, %	90...98	85...95	85...98

Заключение. Процесс восстановления поверхностей деталей гальваническими покрытиями позволяет не только восстановить номинальные размеры и геометрию деталей, но и повысить их сопротивляемость разрушению, деформации и изнашиванию. При выборе способа восстановления должна учитываться геометрическая форма, размеры и материал деталей, а также механические характеристики восстановленных поверхностей, характер и величины дефектов, и условия работы и т.д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ткачев, В. Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин / В. Н. Ткачев. – М.: «Машиностроение», 1971. – 264 с.

2. Поляк, М. С. Технология упрочнения. Технолог. Методы упрочнения. Т. 1. – М.: «Л.В.М.–Скрипт», «Машиностроение», 1995. – 832 с.
3. Таныгина, Е. Д. Основы современной гальванотехники: учебно-методическое пособие / Е. Д. Таныгина, Л. Е. Цыганкова. — Тамбов: ТГУ им. Г.Р.Державина, 2023. — 119 с.
4. Перспективные способы упрочнения поверхностей режущих элементов сельскохозяйственной техники / П. А. Горбушин, С. А. Шишурин, И. Ю. Илларионов, Р. В. Вольсков // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: Материалы XXXVI Международной научно-технической конференции имени В.В. Михайлова, Саратов, 17–18 мая 2023 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, 2023. – С. 211-218.
5. Определение влияния состава электролита и режимов нанесения хромовых покрытий на их микротвердость / П. А. Горбушин, В. В. Сафонов, С. А. Шишурин [и др.] // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: Материалы XXXVII Международной научно-технической конференции имени В.В. Михайлова, Саратов, 15–16 мая 2024 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, 2024. – С. 140-147.
6. Анализ способов упрочнения режущих элементов уборочных машин / П. А. Горбушин, В. В. Сафонов, С. А. Шишурин [и др.] // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: Материалы Международной научно-технической конференции имени В.В. Михайлова, Саратов, 28–29 мая 2025 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, 2025. – С. 51-61.
7. Сафронов, Д. Д. Новинки автомобильной промышленности в России / Д. Д. Сафронов, Р. Р. Девликамов, Ю. В. Поливяный // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: Сборник материалов Международной научно-практической конференции молодых ученых, Пенза, 31 октября – 01 2024 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2024. – С. 82-85.

REFERENCES

1. Tkachev, V. N. Wear and durability enhancement of agricultural machinery parts / V. N. Tkachev, Moscow: Mashinostroenie, 1971, – 264 p.
2. Polyak, M. S. Hardening technology. The technologist. Methods of hardening. Vol. 1. – М.: "L.V.M.–Script", "Mechanical engineering", 1995. – 832 p.
3. Tanygina, E. D. Fundamentals of modern electroplating: an educational and methodical manual / E. D. Tanygina, L. E. Tsygankova. Tambov: TSU named after G.R. Derzhavin, 2023. 119 p.
4. Promising methods of hardening the surfaces of cutting elements of agricultural machinery / P. A. Gorbushin, S. A. Shishurin, I. Y. Illarionov, R. V. Volskov // Problems of efficiency and operation of automotive equipment: Proceedings of the

XXXVI International Scientific and Technical Conference named after V.V. Mikhailov, Saratov, May 17-18, 2023. Saratov: Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, 2023, pp. 211-218.

5. Determination of the influence of the electrolyte composition and the modes of applying chromium coatings on their microhardness / P. A. Gorbushin, V. V. Safonov, S. A. Shishurin [et al.] // Problems of efficiency and operation of automotive equipment: Materials of the XXXVII International Scientific and Technical Conference named after V.V. Mikhailov, Saratov, May 15-16, 2024. Saratov: Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, 2024, pp. 140-147.

6. Analysis of methods for strengthening cutting elements of harvesting machines / P. A. Gorbushin, V. V. Safonov, S. A. Shishurin [et al.] // Problems of efficiency and operation of automotive equipment: Materials of the International Scientific and Technical Conference named after V.V. Mikhailov, Saratov, May 28-29, 2025. Saratov: Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, 2025, pp. 51-61.

7. Safronov, D. D. Novelties of the automotive industry in Russia / D. D. Safronov, R. R. Devlikamov, Yu. V. Polyvyany // Contribution of young scientists to the innovative development of the Russian agro-industrial complex: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Penza, October 31 – 01, 2024. Penza: Penza State Agrarian University, 2024, pp. 82-85.

АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ УПРОЧНЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ОРУДИЙ

В.В. Чекмарев, А.А. Кателин

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии
и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация: приводится анализ способов упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих орудий. Способы упрочнения, в основе которых положены некоторые технологические процессы с добавлением материалов и без него, процессы термической обработки: наплавка, напыление, плазменная и лазерная, а также без термообработки – гальванопластики. Разработана классификация способов упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих орудий.

Ключевые слова: рабочий орган, почвообрабатывающее орудие, способ упрочнения, износостойкость, наплавка.

Original article

ANALYSIS AND CLASSIFICATION OF METHODS FOR STRENGTHENING THE WORKING ORGANS OF TILLAGE IMPLEMENTS

V.V. Chekmarev, A.A. Katelin

Saratov State University of Genetics, Biotechnology
and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Abstract: the analysis of methods for strengthening the working organs of tillage implements is given. Hardening methods based on certain technological processes with and without the addition of materials, heat treatment processes: surfacing, spraying, plasma and laser, as well as without heat treatment – electroplating. A classification of methods for strengthening the working organs of tillage implements has been developed.

Keywords: working body, tillage tool, hardening method, wear resistance, surfacing.

Введение. Интенсивный абразивный износ рабочих органов почвообрабатывающей техники влечёт значительные материальные затраты на ремонт и замену деталей. Поэтому разработка и применение эффективных методов упрочнения — актуальная задача сельскохозяйственного машиностроения, которой отечественные и зарубежные новаторы уделяют большое внимание.

Материалы и методы. В настоящей статье приводится анализ способов упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих орудий. Методы упрочнения, в основе которых положен некоторый технологический процесс термической обработки можно подразделить на следующие:

- **традиционная закалка + отпуск.** Повышает твёрдость сталей (например, для стали 45 — до 45 HRC, для стали 65Г — до 65 HRC), однако упрочнение распространяется на всю массу материала, что ведёт к равномерному притуплению кромки;

- **закалка током высокой частоты (ТВЧ),** даёт хороший результат, это **поверхностная закалка** позволяет упрочнять слой заданной глубины, создавая эффект самозатачивания (из-за технической сложности и экономических ограничений не получила массового распространения);

- **лазерная термообработка** обеспечивает точный и равномерный прогрев зоны упрочнения без нарушения структуры основного металла (также поверхностная).

- **изотермическая обработка** позволяет получить материал с высокой прочностью и пластичностью при минимальных внутренних напряжениях. Увеличивает ресурс на 20% по сравнению с классической термообработкой.

Методы упрочнения, в основе которых положен технологический процесс наплавки можно подразделить на следующие:

- **электродуговая наплавка** позволяет получить слой заданной геометрии и твёрдости (до 65 HRC), в технологиях используются проволоки типа ПП-АН170, а также комбинации электрода Т-590 с порошковым сплавом «Сормайт-1» (формирует карбидный слой с высокой микротвёрдостью);

- **индукционная наплавка,** применяется преимущественно на заводах-изготовителях при этом используют порошковые композиции на основе стружки белого чугуна ИЧХ28Н2;

- **плазменная наплавка,** при которой получают покрытия из порошковых материалов (например, ПС-14-60, ПГ-ФБХ-6-2, ПГ-С27), они повышают износостойкость в 2,4–2,8 раза по сравнению с исходным материалом;

- **карбовибродуговое упрочнение (КВДУ),** в процессе которого на поверхность наносится многокомпонентная паста и затем расплавляется вибрирующим угольным электродом (перспективно использование паст с карбидом вольфрама (WC , W_2C), повышающих наработку в 1,8–1,9 раза);

- **лазерная наплавка** минимизирует оплавление основы, формируя твёрдость слоя — 56–61 HRC. Применяют порошковый сплав ФБХ-6-2 с добавками твёрдых оксидов металлов.

Комбинированные методы упрочнения сочетают в себе признаки различных способов:

- **борирование с ТВЧ-нагревом (химико-термическая обработка)** - паста из карбида бора (84–90%) и флюса (10–16%) наносится на режущую поверхность, нагревается до 1300–1350 °С, выдерживается 1–2 мин. Износостойкость возрастает в 2–4 раза, твёрдость — до 63–65 HRC, глубина слоя — 1,9–2,0 мм.

○ **электроискровое нанесение твёрдых сплавов** с помощью виброконтakтного аппарата ИЕ-2Н и специальных электродов поверхность насыщается износостойкими включениями. Повышает износостойкость до 10%.

○ **металлокерамические покрытия** (на основе гальванопластики) состоят из металлической матрицы с включениями сверхтвёрдых керамических фаз (оксидов, карбидов, нитридов). Эффективны для работы в абразивных почвах.

Нами также производился патентный поиск методов упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих орудий проводился за период 10-15 лет в отечественной патентной базе.

Первая часть методов группировалась по признаку «без нанесения (добавления) материалов». В неё вошли следующие патенты:

Патент RU 2 800 906 C1, дата публикации: 2023.07.31, «Способ производства рабочих органов почвообрабатывающих орудий с режущей частью» [1], а также **патент RU 2 802 698 C1**, дата публикации: 2023.08.30, «Способ производства чугунных рабочих органов почвообрабатывающих орудий с режущей частью».

В этих патентах описано повышение износостойкости лемехов выполненных из чугуна и заключающееся в том, что отливку извлекают из формы при температуре 950-1020°C и перемещают в ванну с водой с температурой 20°C, причем термическую обработку производят пятью циклами погружения и извлечения режущей части рабочего органа, при этом на первом цикле погружают режущую часть в воду и выдерживают 3 с, затем извлекают и выдерживают в воздушной среде 2 с, на втором цикле погружают в воду и выдерживают 2 с, затем извлекают и выдерживают в воздушной среде 3 с, на третьем цикле погружают в воду и выдерживают 2 с, затем извлекают и выдерживают в воздушной среде 4,5 с, на четвертом цикле погружают в воду и выдерживают 2 с, затем извлекают и выдерживают в воздушной среде 10 с, на пятом цикле погружают в воду и выдерживают 1 с, затем извлекают и выдерживают в воздушной среде до полного охлаждения, причем на первом цикле погружают режущую часть в воду на 50%, а на втором и последующих циклах погружают режущую часть в воду на 100%, при этом значения минимального сечения рабочего органа находятся в диапазоне 20-25 мм. [2]

В результате циклической термообработки в режущей части рабочего органа 1 на рис. 3 значения твердости находятся в диапазоне 400-420 НВ на всем ее протяжении и наблюдают структуру бейнит. В переходной части рабочего органа 2 наблюдают перлитную структуру со значениями твердости 200-260 НВ. В зоне крепления рабочего органа 3 металлографический анализ показывает наличие феррито-перлитной структуры металлической основы твердостью 124-138 НВ, с наличием от 40 до 45% феррита.

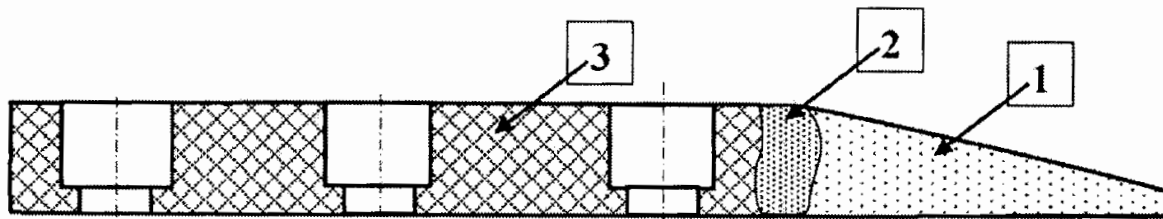


Рисунок 1. Зоны структурной неоднородности чугунного лемеха после ступенчатого охлаждения отливки

В результате износостойкость рабочих органов почвообрабатывающих орудий из чугуна, подверженных циклической термообработке для рационального структурирования при обработке почв, в сравнении с аналогичными рабочими органами без рационального структурирования, увеличивается в среднем в 1,2-1,25 раза, как утверждают авторы.

Следующий патент **RU 2 420601 C1**, дата публикации: 2010.06.10, «Способ упрочнения лезвий рабочих органов почвообрабатывающих орудий».

Авторами в работе [3], отмечается что основными условиями самозатачивания биметаллических лезвий являются следующие зависимости:

толщина мягкого слоя определяется зависимостью

$$\delta_m = \delta_t \cdot k_m,$$

где δ_m - толщина мягкого слоя, δ_t - толщина твердого слоя,

k_m - коэффициент прочности твердого слоя 1,0-1,8;

твердость твердого слоя определяется зависимостью

$$H_m = H_M \cdot k,$$

где H_m - твердость твердого слоя, H_M - твердость мягкого слоя,

$k=3-5$ - коэффициент, зависящий от абразивных свойств почвы.

Особенность запатентованного способа упрочнения заключается в том, что производится, нагрев поверхности тыльной стороны лезвия (рисунок 2) электрической дугой обратной полярности с использованием угольного электрода и последующее охлаждение, согласно изобретению упрочнение производят импульсным током, а перемещение электрода производят по криволинейной траектории, образованной линейным перемещением параллельно кромке лезвия со скоростью V (м/с) и вращением вокруг вертикальной оси с радиусом R (м) и угловой частотой ω (рад/с), при этом величина угловой частоты находится в диапазоне, определяемом из соотношения $3V/R < \omega < 9V/R$ (рисунок 3), а длительность и амплитуду импульсов тока за один оборот электрода увеличивают при удалении от острия лезвия и уменьшают при приближении к нему. Большим плюсом данного способа является то, что в качестве основы можно использовать дешевые низкоуглеродистые стали, например, сталь 20 [4].

В результате плавления тыльной стороны лезвия и дальнейшего охлаждения проточной водой получен слой твердостью HRC 58-60, шириной 20 мм и глубиной проплавления: у острия лезвия от 0,8 до 1 мм и от 2,5 до 3 мм, над утолщенной частью, что соответствует условиям самозатачивания согласно формулам (1), (2), то

есть толщина мягкого слоя, как у острия лезвия ($\delta m1$), так и в утолщенной части ($\delta m2$), находится в пределах от 1 до 1,6 толщины твердого слоя ($\delta m1$), ($\delta m2$), а твердость твердого слоя (Hm) находится в пределах от 3,2 до 5 твердости мягкого слоя (Hm).

Использование предлагаемого изобретения обеспечивает стабилизацию профиля лезвия на протяжении всего процесса изнашивания, что 1,5-2 раза повышает конструкционную износостойкость рабочих органов почвообрабатывающих орудий и их межремонтный срок службы.

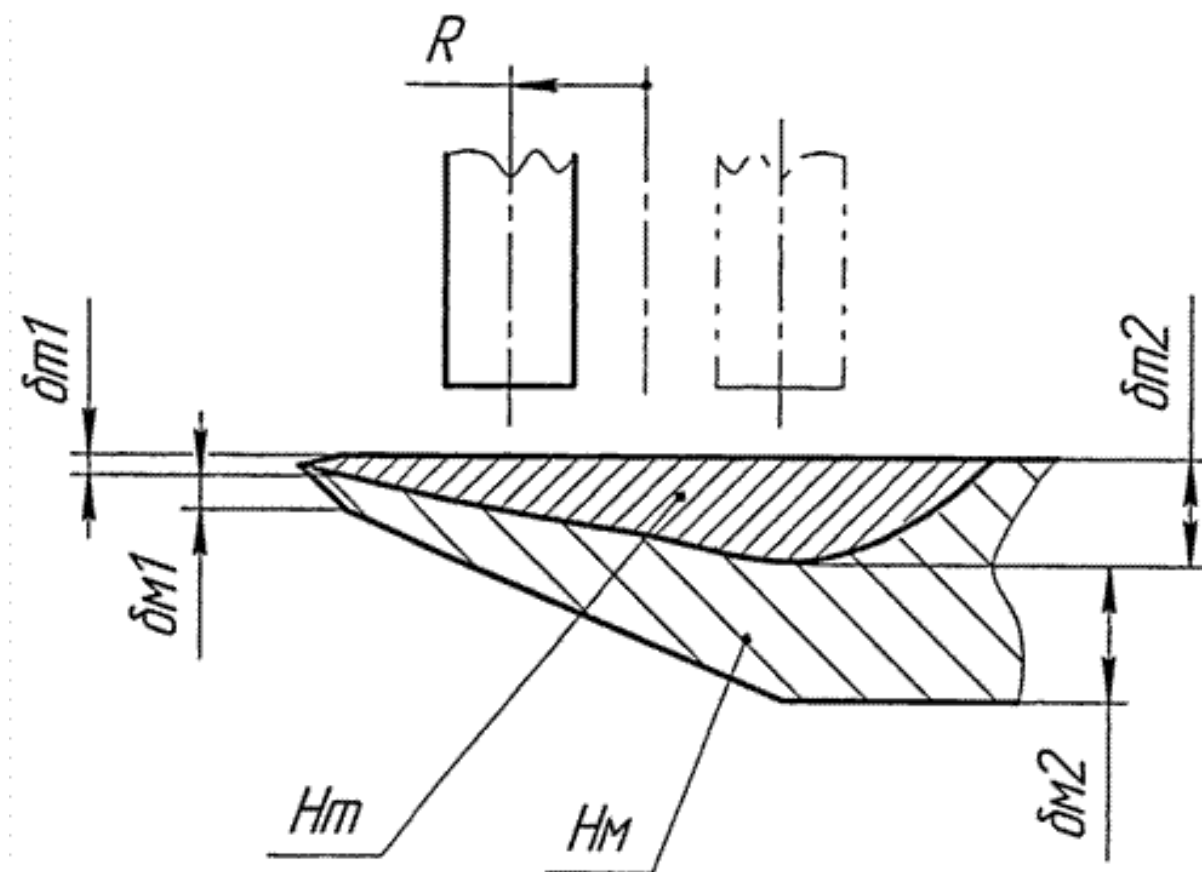
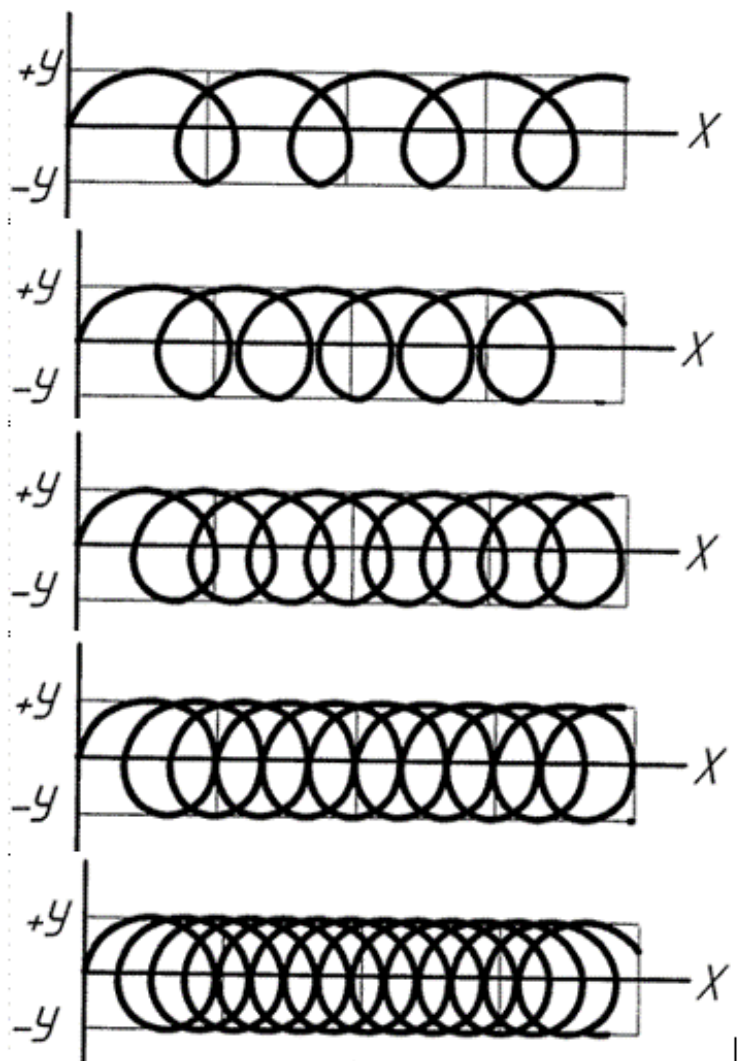


Рисунок 2. Расположение электрода над упрочняемой поверхностью и поперечное сечение лезвия, обеспечивающее условия самозатачивания: $\delta m1$ – толщина мягкого слоя у острия лезвия; $\delta m2$ – толщина мягкого слоя в утолщенной части лезвия; $\delta m1$ – толщина твердого слоя у острия лезвия; $\delta m2$ – толщина твердого слоя в утолщенной части лезвия; Hm – твердость твердого слоя; Hm – твердость мягкого слоя; R – радиус вращения электрода



**Рисунок 3 - Траектория движения электрода (сверху вниз)
с параметрами: $w=3V/R$, $w=4.5V/R$, $w=6V/R$, $w=7.5V/R$, $w=9V/R$**

Следующий в этой группе патент - **RU 2 679 673 C1**, опубликован 12.02.2019, «Способ упрочнения лезвий рабочих органов почвообрабатывающих орудий».

Технический результат предлагаемого способа достигается упрочнением лезвий рабочих органов почвообрабатывающих орудий, включающим нагрев поверхности тыльной стороны лезвия электрической дугой обратной полярности, перемещение электрода производят по криволинейной траектории, образованной линейным перемещением параллельно острой кромки лезвия и вращением вокруг вертикальной оси при этом почвообрабатывающие орудия выполняют из высокопрочного чугуна (ВЧ 40 – ВЧ 60), нагрев поверхности тыльной стороны лезвия осуществляют вольфрамовым электродом постоянным током, при этом диаметр вращения электрода вокруг вертикальной оси задают равным ширине лезвия, за один оборот электрода вокруг вертикальной оси линейное перемещение составит 3 мм, частота вращения ω выражается зависимостью: $\omega=k \cdot 30 \text{ мин}^{-1}$ [5],

где $k=1,5$ при толщине лезвия $2,0 \leq \delta \leq 3,0$ мм,

$k=1,0$ при толщине лезвия $3,1 \leq \delta \leq 5,0$ мм,

$k=0,8$ при толщине лезвия $5,1 \leq \delta \leq 7,0$ мм.

В результате на обработанной поверхности в режущей части рабочих органов почвообрабатывающих орудий получался заданной стабильной глубины слой чистого отбеленного высокопрочного чугуна, что в итоге обеспечивало повышение износостойкости и эксплуатационных характеристик лезвий рабочих органов почвообрабатывающих орудий.

В следующем **патенте - RU 2 700 900 C1**, опубликован 2019.09.23 «Способ термообработки режущего инструмента из высокопрочного чугуна для разработки грунтов» технический результат достигается способом термообработки режущего инструмента из высокопрочного чугуна для разработки грунтов, при котором поверхность инструмента подвергают лазерному воздействию, формируя пятно лазерного луча с определенной мощностью пучка на образце, с коэффициентом перекрытия пятна лазерного луча в диапазоне от 0,1 до 0,9, при этом обрабатывают поверхности режущих частей и лезвий рабочих органов из высокопрочного чугуна ВЧ 50 многоканальным CO₂ - лазером непрерывным режимом работы, формируют пятно лазерного луча на образце мощностью $P=2,1$ кВт, при этом диаметром пятна излучения в зоне обработки формируют равным $d=9$ мм, обрабатывают со скоростью перемещения $v=480$ мм/с и коэффициентом перекрытия пятна лазерного луча 0,3. Оптимальные режимы способа определялись в процессе эксперимента на автоматизированном лазерно-технологическом комплексе АЛТКУ-3 (многоканальный CO₂ - лазер)[6].

По данным авторов, заявленный способ термообработки режущего инструмента из высокопрочного чугуна для разработки грунтов обеспечивает получение заданной стабильной глубины чистого отбеленного слоя глубиной 0,16 мм в режущей части рабочих органов почвообрабатывающих орудий из высокопрочного чугуна, повышение твердости.

Следующая группа патентов относится к методам упрочнения, связанных с нанесением дополнительных материалов на поверхности рабочих органов.

Патент – RU 2 754 670 C1, дата публикации: 06.09.2021 «Способ восстановления рабочих органов почвообрабатывающих орудий».

Суть способа в том, что вначале удаляется изношенная режуще-лезвийная часть рабочего органа почвообрабатывающего орудия. Для этого используются угловые шлифовальные машины. Далее из шарикоподшипниковой стали ШХ15СГ полосового проката заранее подготовленные по ширине и длине восстанавливаемой лезвийной части заготовки толщиной 2,0 мм приваривают контактно-точечной сваркой к обработанной поверхности. Диаметр контактной поверхности электродов 5 мм, продолжительность пропускания сварочного тока 1 с, давление на электродах 80-90 кг, сила сварочного тока 4400-4500 А. В результате получают накладную пластину (новая режуще-лезвийная часть рабочего органа). Поверхность накладной пластины упрочняют газопламенным напылением, которое проводят в два этапа. Сначала напыляли подслои термореагирующего порошка толщиной 0,05-0,15 мм. Затем напыляли основной слой износостойким порошковым сплавом толщиной 2 мм, при этом подслои и основной слой наносят при одних и тех же режимах напыления - давлении кислорода 0,35-0,45 МПа, давлении ацетилена 0,03-0,05 МПа, расходом кислорода 960-1100 л/ч, расходом ацетилена 900-1000 л/ч,

расстоянием от среза сопла мундштука до наплавляемой поверхности 160-200 мм, расходом порошка 2,5-3 кг/ч, при этом перед началом напыления деталь подогревали до температуры 50-100°C. В качестве износостойкого материала использовали порошок состава, %: С-2,0, Cr-18,0, Ni-1,6, Si-1,0, Mn-1,1, Mo-2, Al-0,6, Fe-остальное, при этом твердость упрочненного слоя - 58 - 60 HRC. Благодаря наплавленному слою, полученному на восстановленных и упрочненных рабочих органах, повышалась износостойкость в условиях интенсивного абразивного изнашивания [7].

В результате износостойкость восстановленных и упрочненных рабочих органов при обработке почв увеличивается в среднем в 2,9-3,8 раза.

Аналогичный патент с небольшими уточнениями – **RU 2 756084 C1**, дата публикации: 2021.09.27, «Способ восстановления рабочих органов почвообрабатывающих орудий» [8].

В патенте **RU 2 820 471 C1** дата публикации: 04.06.2024, «Способ упрочнения дисковых рабочих органов почвообрабатывающих орудий» предлагается восстанавливать рабочие поверхности деталей почвообрабатывающих орудий с использованием сварки, преимущественно дисковых рабочих органов. Осуществляют наплавку износостойкого материала вдоль режущей поверхности на ширину 30 мм. В качестве износостойкого материала используют пасту, наносимую на режущую поверхность слоем толщиной 1,4...1,5 мм, в которой содержится 72...74% порошка ПР-НХ16СР4МДЗ, 24...25% бориды титана и раствор клея ПВА-М - остальное, а наплавку осуществляют после затвердевания пасты электрической дугой прямой полярности с использованием вибрирующего угольного электрода, при этом сила тока составляет 45 А, скорость перемещения угольного электрода - 4 мм/с, частота и амплитуда вибрации угольного электрода - 4...5 Гц и 0,8 мм соответственно. Изобретение позволяет в среднем на 20% увеличить твердость наплавленного слоя режущей поверхности, при этом износостойкость дискового рабочего органа в условиях интенсивного абразивного изнашивания увеличивается на 40%, что позволяет увеличить в среднем в 1,3 раза долговечность упрочненных дисковых рабочих органов почвообрабатывающих орудий [9]. Также рассматривался патент **RU 2 447 194 C1** дата публикации: 10.04.2012, «Способ химико-термической обработки режущей кромки стального рабочего органа почвообрабатывающего орудия». Способ включает насыщение режущей кромки упрочняющими элементами из обмазки, содержащей 84 или 90 мас.% карбида бора и 16 или 10 мас.% плавного флюса для индукционной плавки П-0,66. Обмазку наносят на режущую кромку и носок рабочего органа со стороны, контактирующей с почвой, насыщение ведут токами высокой частоты с нагревом насыщаемой поверхности до температуры 1250-1300°C и выдержкой 1-2 мин. Последующую термообработку проводят нагревом всего почвообрабатывающего органа до 850-900°C с последующей закалкой в среде масла. Плавный флюс для индукционной наплавки П-0,66 содержит модификаторы, в качестве которых используют смесь порошка силикокальция 20 мас. % и порошка флюса АН-348А 80 мас. % [10].

Высокая износостойкость образующихся боридных слоев обеспечивает в 2-4 раза более длительную эксплуатацию почвообрабатывающих органов

сельхозтехники без затупления их режущей кромки, а объемная закалка остальной части почвообрабатывающего органа позволяет сохранять его оптимальную рабочую форму и целостность в течение всего периода эксплуатации.

Патент RU 2 360 768 C2 дата публикации: 10.07.2009, «Способ получения биметаллического покрытия для рабочих органов почвообрабатывающего орудия»

Способ, описанный в данном патенте, осуществляют следующим образом. На универсально-фрезерном станке фрезеруют тыльную сторону лезвия рабочего органа (например, лапы культиватора), подлежащего наплавке слоем покрытия. Из специального сырья на дробильных агрегатах (например, шаровой мельнице) получают порошковый материал различного химического состава, например, близкий к порошку из сплава сормайт №1 (марка ПГ-С1) изложенный в ГОСТ 21448-75* [11] (основа Fe - до 54,6-65,1%; Cr - 25-31%; C - 2,5-3,5%; Si - 2,8-4,2%; Ni - 3-5%; Mn - до 1,5%; S - до 0,08%; P - до 0,08%), который подвергают облучению гамма-квантами интегральной дозой $1 \times 10^3 - 1 \times 10^7$ рад от линейного ускорителя электронов через установленную перед его выходном окном вольфрамовую пластину. На всю ширину поверхности кромки лезвия рабочего органа, расположенного тыльной стороной вверх, ровным слоем и заданной толщины наносится слой облученного порошкового материала, после чего наплавляемую поверхность рабочего органа (лезвие) помещают в электромагнитное поле индуктора, где под действием тока высокой частоты (ТВЧ) происходит расплавление порошкового материала при температуре от плюс 1100°C до плюс 1200°C и его наплавка на лезвие в течение 5-8 с. После наплавки лезвия рабочего органа закалка не производится. Количество порошка, необходимое для наплавки рабочего органа, определялось экспериментальным путем. В процессе радиационной обработки сначала происходят спонтанные флуктуации атомов отдельных элементов поликристаллического вещества, а затем вступает в силу необратимая эволюция, проявляющаяся в самоорганизации наноструктуры в процессе жидкофазного спекания и увеличении абразивной износостойкости биметаллического покрытия [12].

Результаты исследований. Подводя итог анализу методов упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих орудий следует отметить **ключевые преимущества методов:**

- **Самозатачивание** - позонное упрочнение (наплавка, поверхностная закалка) создаёт неравномерную твёрдость по сечению, замедляя износ кромки и придавая в процессе работы остроту режущей части.

- **Локальное упрочнение.** Методы обработки угольным или вольфрамовым электродом, лазерной обработки или КВДУ воздействуют только на рабочую зону, сохраняя свойства основной массы детали, ее податливость в сочетании с повышенной износостойкостью рабочих поверхностей. Для этих методов характерна их не высокая стоимость и возможность использования сталей и чугунов с пониженными исходными характеристиками.

- **Комбинация свойств.** Металлокерамические и карбидные покрытия сочетают высокую твёрдость с ударной вязкостью. Современные тенденции направлены на применение **комбинированных технологий** (например, восстановление с термоупрочнёнными элементами + наплавочное армирование) и

инновационных материалов применения металлокерамики с карбидом вольфрама, лазерной обработки, что позволяет существенно повысить износостойкость при разумных затратах.

При выборе метода упрочнения необходимо учитывать ряд факторов:

- Типы почвы и условия обработки (абразивность, влажность);
- Особенности конструкции орудия (форма, размеры);
- Влияние экономических факторов (стоимость оборудования, материалов);
- Требования к ресурсу (планируемый срок службы).

Результатом анализа способов упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих орудий стала разработанная нами классификация, представленная на рисунке 4.

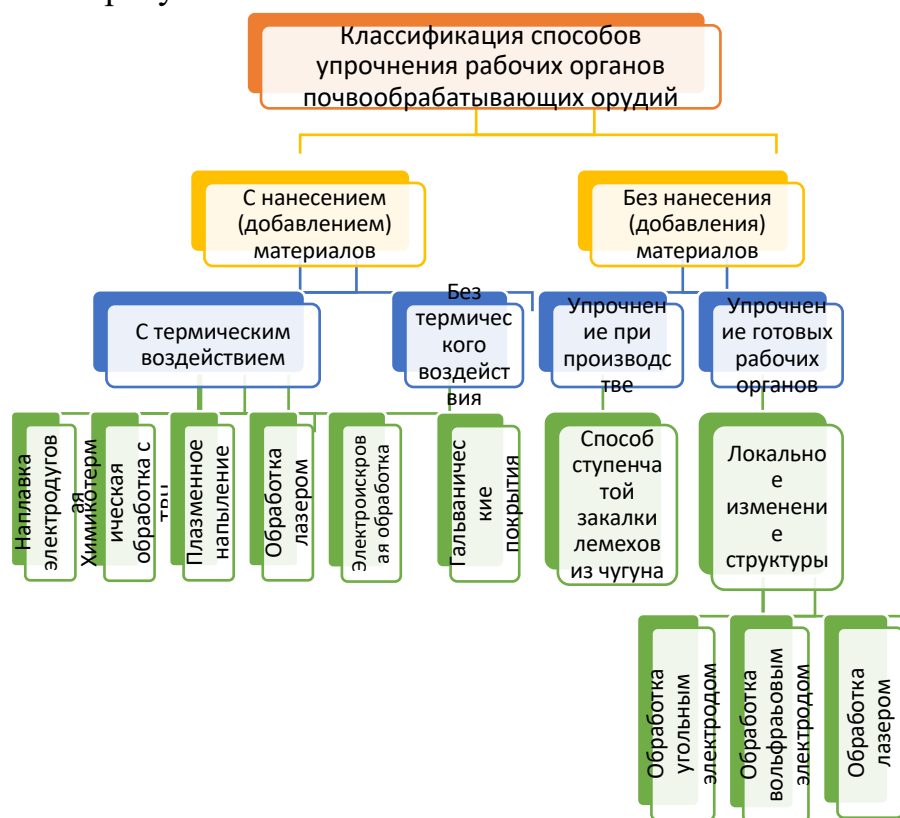


Рисунок 4. Классификация способов упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих орудий

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент RU 2 800 906 C1, дата публикации: 2023.07.31, номер заявки: 2022133770, дата подачи заявки: 2022.12.20, «Способ производства рабочих органов почвообрабатывающих орудий с режущей частью», / Любимова Г.А., Моторин В. А., Грибенченко А.В., Гапич Д. С./ Патентообладатель: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ.
2. Патент RU 2 802 698 C1, дата публикации: 2023.08.30, номер заявки: 2022133770, дата подачи заявки: 2022.12.20, «Способ производства чугунных рабочих органов почвообрабатывающих орудий с режущей частью», / Моторин В. А./ Патентообладатель: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ.

3. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин. Ткачев В.Н. «Машиностроение». М. 1971. Стр.264.
4. Патент RU 2 420601 C1, дата публикации: 2010.06.10, номер заявки: 2010108483/02 дата подачи заявки: 2011.12.20 «Способ упрочнения лезвий рабочих органов почвообрабатывающих орудий», / Аникин А. А., Тимофеев В. В., Елютин С. Б., Аникин А. А., Бадерский С. В./ Патентообладатель: ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ.
5. Патент - RU 2 679 673 C1 Опубликовано: 12.02.2019, заявка: 2018114398, 18.04.2018. «Способ упрочнения лезвий рабочих органов почвообрабатывающих орудий», / Моторин В.А., Гапич Д.С., Костылева Л.В., Борисенко И. Б., Новиков А. Е., Елфимов А. В. / Патентообладатель: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ.
6. Патент - RU 2 700 900 C1, Дата публикации: 2019.09.23, Номер заявки: 2019113887, Дата подачи заявки: 2019.05.06. «Способ термообработки режущего инструмента из высокопрочного чугуна для разработки грунтов», / Костылева Л. В., Гапич Д. С., Моторин В. А./ Патентообладатель: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ.
7. Патент RU 2 754 670 C1, дата публикации: 2021.09.06, заявка 2021102832 дата подачи: 2021.02.05 «Способ восстановления рабочих органов почвообрабатывающих орудий». /Любимова Г. А., Моторин В. А., Грибенченко А. В., Гапич Д. С. /Патентообладатель: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ.
8. Патент RU 2 756084 C1, дата публикации: 2021.09.27, заявка 2021102834 дата подачи: 2021.02.05 «Способ восстановления рабочих органов почвообрабатывающих орудий», / Моторин В. А., Гапич Д. С. / Патентообладатель: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ.
9. Патент RU 2 820 471 C1 дата публикации: 04.06.2024, заявка 2023102716, дата подачи: 06.02.2023, «Способ упрочнения дисковых рабочих органов почвообрабатывающих орудий» / Титов Н. В., Коломейченко А. В., Логачев В. Н., Кузнецов И. С., Чернышов Н. С., Зайцев С. А. / Патентообладатель: ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.
10. Патент RU 2 447 194 C1 дата публикации: 10.04.2012, заявка 2010132675, дата подачи: 03.08.2010, «Способ химико-термической обработки режущей кромки стального рабочего органа почвообрабатывающего орудия» / Кривочуров Н. Т., Мишустин Н. М., Ишков А. В., Иванайский В. В. / Патентообладатель: ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ.
11. Порошки из сплавов для наплавки. Технические условия: ГОСТ 21448-75*. - Введ. 01.01.77. - М., 1982. - 9 с.
12. Патент RU 2 360 768 C2 дата публикации: 10.07.2009, заявка 2007134141/02, дата подачи: 12.09.2007 Способ получения биметаллического покрытия для рабочих органов почвообрабатывающего орудия / Бойков В. М., Балаев А. А., Федоров А. Л., Чесноков Б. П., Вайцуль А. Н., Тужилина С. А. / Патентообладатель: ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ.

REFERENCES

1. Patent RU 2 800 906 C1, publication date: 2023.07.31, application number: 2022133770, application date: 2022.12.20, "Method of production of working bodies of tillage implements with a cutting part", / Lyubimova G.A., Motorin V. A., Gribenchenko A.V., Gapich D. S./ Patent holder: Volgograd State Agrarian University.
2. Patent RU 2 802 698 C1, publication date: 08/2023, application number: 2022133770, application date: 12/2022.20, "Method of production of cast-iron working bodies of tillage implements with a cutting part", / Motorin V. A./ Patent holder: Volgograd State Agrarian University.
3. Wear and durability improvement of agricultural machinery parts. Tkachev V.N. "Mechanical engineering". M. 1971. Page264.
4. Patent RU 2 420601 C1, publication date: 2010.06.10, application number: 2010108483/02 application date: 2011.12.20 "Method of hardening the blades of working bodies of tillage implements", / Anikin A. A., Timofeev V. V., Elyutin S. B., Anikin A. A., Badersky S. V./ Patent holder: Saratov State Agrarian University.
5. Patent - RU 2,679,673 C1 Published: 12.02.2019, application: 2018114398, 18.04.2018. "Method of hardening the blades of working organs of tillage implements", / Motorin V.A., Gapich D.S., Kostyleva L.V., Borisenko I. B., Novikov A. E., Elfimov A.V. / Patent holder: Volgograd State Agrarian University.
6. Patent - RU 2,700,900 C1, Publication date: 2019.09.23, Application number: 2019113887, Application date: 2019.05.06. "Method of heat treatment of cutting tools made of high-strength cast iron for soil development", / Kostyleva L. V., Gapich D. S., Motorin V. A./ Patent holder: Volgograd State Agrarian University.
7. Patent RU 2,754,670 C1, publication date: 09/20/20/06, application 2021102832 filing date: 02/20/20/05 "Method for restoring working organs of tillage implements". /Lyubimova G. A., Motorin V. A., Gribenchenko A.V., Gapich D. S. /Patent holder: Volgograd State Agrarian University.
8. Patent RU 2 756084 C1, publication date: 09/20/20, application 2021102834 filing date: 02/20/2005 "Method for restoring working organs of tillage implements", / Motorin V. A., Gapich D. S. / Patent holder: Volgograd State Agrarian University.
9. Patent RU 2 820 471 C1 date of publication: 06/04/2024, application 2023102716, filing date: 02/06/2023, "Method of hardening disk working bodies of tillage implements" / Titov N. V., Kolomeichenko A.V., Logachev V. N., Kuznetsov I. S., Chernyshov N. S., Zaitsev S. A. / Patent holder: Orel State Agrarian University.
10. Patent RU 2,447,194 C1 date of publication: 04/10/2012, application 2010132675, filing date: 08/03/2010, "Method of chemical and thermal treatment of the cutting edge of the steel working body of a tillage implement" / Krivochurov N. T., Mishustin N. M., Ishkov A.V., Ivanaisky V. V. / Patent holder: Altai State Agrarian University.
11. Alloy powders for surfacing. Technical specifications: GOST 21448-75*. - Introduction. 01.01.77. - M., 1982. - 9 p.
12. Patent RU 2 360 768 C2 date of publication: 07/10/2009, application 2007134141/02, filing date: 09/12/2007 Method of obtaining a bimetallic coating for

the working organs of a tillage implement / Boikov V. M., Balaev A. A., Fedorov A. L., Chesnokov B. P., Vaitsul A. N., Tuzhilina S. A. / Patent holder: Saratov State Agrarian University.

МОДИФИКАЦИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НАНОДИСПЕРСНЫМИ ДОБАВКАМИ

*Сыроежкин С.В., Теплов А.П., Миронова Е.А., Долгополов Г.Г.,
Степаненко Д.П.*

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и
инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация. В статье рассмотрено влияние нанодисперсных добавок на свойства композиционных электролитических покрытий на основе железа. Проведены исследования микротвердости и микроструктуры покрытий, полученных методом твердого железнения с использованием нанодисперсного карбида кремния и полититаната калия. Установлено, что введение модифицирующих добавок способствует повышению микротвердости покрытий по сравнению с традиционным железным покрытием. Наибольшее значение микротвердости получено при использовании полититаната калия и составило 610 HV. Исследование микроструктуры показало, что нанодисперсные частицы оказывают влияние на процесс электроосаждения железа, способствуя формированию более плотной и однородной структуры покрытия. Полученные результаты подтверждают перспективность применения нанодисперсных материалов для повышения эксплуатационных характеристик восстановленных деталей сельскохозяйственной и транспортной техники.

Ключевые слова: композиционные электролитические покрытия, железнение, нанодисперсные материалы, карбид кремния, полититанат калия, микротвердость, микроструктура, электрохимическое осаждение, восстановление деталей, упрочнение поверхностей.

Original article

MODIFICATION OF IRON GALVANIC COATINGS WITH NANODISPERSE ADDITIVES

*Syroezhkin S.V., Teplov A.P., Mironova E.A., Dolgoplov G.G.,
Stepanenko D.P.*

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after
N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Abstract: The article examines the influence of nanodispersed additives on the properties of iron-based composite electrolytic coatings. Studies have been carried out on the microhardness and microstructure of coatings obtained by hard ironing using nanodispersed silicon carbide and potassium polytitanate. It has been established that the introduction of modifying additives helps to increase the

microhardness of coatings compared to traditional iron coatings. The highest microhardness value was obtained using potassium polytitanate and amounted to 610 HV. A study of the microstructure showed that nanodispersed particles influence the process of iron electrodeposition, contributing to the formation of a more dense and uniform coating structure. The results obtained confirm the promise of using nanodispersed materials to improve the performance characteristics of restored parts of agricultural and transport equipment.

Keywords: composite electrolytic coatings, iron plating, nanodispersed materials, silicon carbide, potassium polytitanate, microhardness, microstructure, electrochemical deposition, restoration of parts, surface hardening.

Современные требования к надежности сельскохозяйственной, автомобильной и тракторной техники постоянно возрастают. При этом особое внимание уделяется снижению расходов на ремонтные работы, техническое обслуживание и приобретение запасных частей. В связи с этим актуальной задачей является разработка новых технологий восстановления и упрочнения деталей, определяющих ресурс машин и механизмов.

Одним из эффективных методов восстановления и повышения эксплуатационных характеристик деталей являются гальванические покрытия. Однако традиционные технологии не всегда обеспечивают необходимый уровень свойств, поэтому ведутся активные исследования по совершенствованию данных процессов.

В последние годы широкое распространение получили композиционные электролитические покрытия, которые представляют собой металлическую матрицу с включениями различных дисперсных компонентов. Особый интерес среди таких покрытий вызывают композиционные покрытия на основе железа. Их преимущества заключаются в доступности используемых материалов, высокой производительности процесса нанесения, возможности формирования покрытий значительной толщины и хороших механических характеристиках. Кроме того, свойства таких покрытий могут изменяться в широких пределах за счет регулирования параметров электролиза и состава электролита.

Композиционное электролитическое покрытие формируется в результате электрохимического осаждения металла на катоде под действием электрического тока. В структуре покрытия одновременно присутствуют как металлическая основа, так и различные армирующие включения металлического или неметаллического происхождения.

Ранее при изготовлении подобных покрытий преимущественно использовались частицы размером от десятков до сотен микрометров. Однако применение таких материалов сопровождалось определенными трудностями, связанными с их быстрым осаждением в электролите и сложностью получения однородной структуры покрытия. Развитие нанотехнологий позволило создавать материалы с размерами частиц в нанометровом диапазоне, что открыло новые возможности для модификации гальванических покрытий.

Поскольку композиционные покрытия на основе железа с нанодисперсными добавками изучены недостаточно полно, они представляют

значительный интерес для научных исследований. С целью оценки влияния таких добавок были проведены эксперименты по исследованию микротвердости и структуры покрытий, полученных с использованием нанодисперсных порошков.

В качестве модифицирующих компонентов были выбраны нанодисперсный карбид кремния и полититанат калия. Нанесение покрытий выполнялось на установке Valenza 2400 из стандартного хлористого электролита в режиме твердого железнения. Для испытаний использовали образцы из среднеуглеродистой стали в виде пластин длиной 70 мм и шириной 17 мм. Измерение микротвердости осуществлялось на приборе ПМТ-3. Исследование микроструктуры проводилось с использованием растрового электронного микроскопа MIRA II TESCAN. Результаты показали, что включение нанодисперсных материалов положительно влияет на механические свойства покрытий. При использовании полититаната калия микротвердость составила 610 HV, а при введении карбида кремния — 590 HV. По сравнению с обычным железным покрытием прирост микротвердости достиг соответственно 200 и 180 HV.

Анализ микроструктуры продемонстрировал существенные различия между стандартными покрытиями и покрытиями, содержащими нанодисперсные добавки. Введение наночастиц способствует активизации процесса электроосаждения железа. Предполагается, что такие частицы выполняют функцию дополнительных центров кристаллизации, благодаря чему ускоряется формирование покрытия и образуется более плотная структура материала. Повышение плотности структуры связано с возникновением локальных деформаций вблизи нанодисперсных включений, что оказывает положительное влияние на физико-механические характеристики покрытия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Антропов Л.И., Лебединский Ю.Н.: Композиционные электрохимические покрытия и материалы: - К.: Техника, 1986. – 200 с.
2. Электролитическое осаждение железа / Ю.Н. Петров, Г.В. Гурьянов, Н.И. Бобанова, С.П. Сидельникова, Л.Н. Андреева; Кишинев, 1990. – 246 с.
3. Нанокompозиционные гальванические покрытия / В.В. Сафонов, С.А. Шишурин, В.А. Александров, А.В. Евстратов; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2008. – 128 с.

REFERENCES:

1. Antropov L.I., Lebedinsky Yu.N.: Composite electrochemical coatings and materials: - K.: Tekhnika, 1986. – 200 p.
2. Electrolytic deposition of iron / Yu.N. Petrov, G.V. Guryanov, N.I. Bobanova, S.P. Sidelnikova, L.N. Andreeva; Chisinau, 1990. – 246 p.
3. Nanocomposite galvanic coatings / V.V. Safonov, S.A. Shishurin, V.A. Alexandrov, A.V. Evstratov; Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Saratov State Agrarian University". – Saratov, 2008. – 128 p.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ КОМПОЗИЦИОННЫМИ НАПЛАВОЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

*П.А. Горбушин, К.А. Литвинюк, А.А. Мушкенов, Д.П. Степаненко,
Г.Г. Долгополов*

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии
и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация: одним из перспективных методов восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственных машин, в значительной мере лишённая многих недостатков и получившая в последнее время широкое распространение является плазменно-порошковая наплавка. В статье представлены исследования влияния твёрдого порошка, полученного из переработанного вторичного сырья из стали P18, методом электроэрозионного диспергирования, на микротвёрдость покрытия, полученного методом плазменно-порошковой наплавки.

Ключевые слова: плазменно-порошковая наплавка, микротвёрдость, сталь P18, покрытие, вторичное сырьё.

Original article

RESTORATION OF AGRICULTURAL MACHINERY PARTS WITH COMPOSITE SURFACING MATERIALS

*P.A. Gorbushin, K.A. Litvinyuk, A.A. Mushkenov, D.P. Stepanenko, G.G.
Dolgopolov*

Saratov State University of genetics, biotechnology and engineering
named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Abstract: plasma powder surfacing is one of the promising methods for restoring and strengthening agricultural machinery parts, which is largely devoid of many disadvantages and has recently become widespread. The article presents studies of the effect of a solid powder obtained from recycled secondary raw materials from P18 steel by electroerosion dispersion on the microhardness of a coating obtained by plasma-powder surfacing.

Keywords: plasma powder coating, microhardness, P18 steel, coating, secondary raw materials.

Введение. С целью обеспечения долговечности и надежности автотракторной техники, необходимо использовать качественные материалы, способные защитить детали от износа, коррозии и других внешних воздействий. Создание новых высококачественных материалов может быть связано со значительными затратами на их производство, поэтому, вторичное

использование металлов и сплавов становится целесообразным решением. Это позволяет не только существенно снизить нагрузку на экологию и экономить природные ресурсы, но и обеспечить высокую рентабельность процесса восстановления [4, 5].

Сталь Р18, обладает комплексом уникальных свойств: долговечностью, прочностью, высокой твердостью и т.д. Поэтому ее вторичная переработка, является актуальным направлением. При помощи электроэрозионного диспергирования возможна переработка стали Р18 в порошковые материалы, которые пригодны для использования в качестве материала для плазменно-порошковой наплавки. Метод плазменно-порошковой наплавки имеет несколько преимуществ, которые делают его востребованным в различных отраслях. Он позволяет получить однородные металлические покрытия с минимальным количеством дефектов. Это делает его подходящим для широкого спектра использования, от восстановления изношенных деталей до создания новых компонентов с нужными свойствами.

Материалы и методы. *Методика получения плазменных покрытий.*

Для восстановления и повышения износостойкости восстанавливаемых деталей, с целью экономии металла, плазменную наплавку возможно осуществлять электроэрозионными материалами, полученными из стали Р18. Вторичное использование металла является целесообразным во многих аспектах. Плазменная наплавка обладает рядом преимуществ: возможно нанесение покрытие порошковыми материалами, которые обеспечивают минимальную глубину проплавления, высокую прочность сцепления покрытия с основой и минимальный припуск на механическую обработку. Метод характеризуется высокой температурой сжатой дуги в диапазоне от 10000 до 20000 °С, локальной подачей теплоты в изделие и широким спектром возможностей по регулированию тепла. Режим наплавки включает в себя использование обратной полярности, силу сварочного тока 160...180 А, напряжение дуги 27...28 В, число оборотов вала 1,5 оборота в минуту, продольную подачу материала 3,5 мм за оборот, смещение электрода от зенита на 8 мм, и вылет электрода 16...20 мм.

Методика измерения микротвердости

Микротвердость покрытий определяли на микротвердомере DuraScan 20 по методу восстановленного отпечатка вдавливанием алмазной пирамиды согласно ГОСТ 9450-76.

С целью исключения влияния твердости основного металла измерение микротвердости получаемых покрытий, измерения микротвердости проводили на металлографических шлифах, путем вдавливания алмазной пирамиды в шлифованный торец исследуемого образца. Шлифы изготавливали по технологии, описанной в других работах авторов [1-3, 6]

Для получения отчетливой границы между металлическими слоями после полирования проводили травление шлифов в растворе травления, раствор и режимы:

- соляная кислота (HCl) – 50 мл/л;
- этилового спирта – 100 мл/л;

- температура – 50 °С;
- время – 1 мин.

Результаты исследований. Согласно предварительным испытаниям, был выбран состав покрытия, полученного плазменной наплавкой порошковой смеси 50% железного порошка марки ПЖВ5 + 50% порошок из стали Р18.

Результаты измерений микротвердости зоны соединения сталь 40Х – 50% ПЖВ5 + 50% Р18, полученная плазменно-порошковой наплавкой, представлены на рисунке.

Из представленных данных следует, что среднее значение микротвердости порошка, состоящего на 50% из ПЖВ5 и на 50% из стали Р18, выше среднего значения микротвердости подложки в 1,9 раза.

Заключение. Проведенные исследования показали хорошую перспективу использования вторичного сырья из стали Р18 (прутки, сверла, фрезы и т.д.) для создания твердого порошка методом электроэрозионного диспергирования с целью модификации покрытий, полученных плазменно-порошковой наплавкой. Применение таких покрытий может существенно повысить ресурс деталей сельскохозяйственной техники с незначительным удорожанием получаемого покрытия, по сравнению с классическим покрытием, получаемым плазменно-порошковой наплавкой.

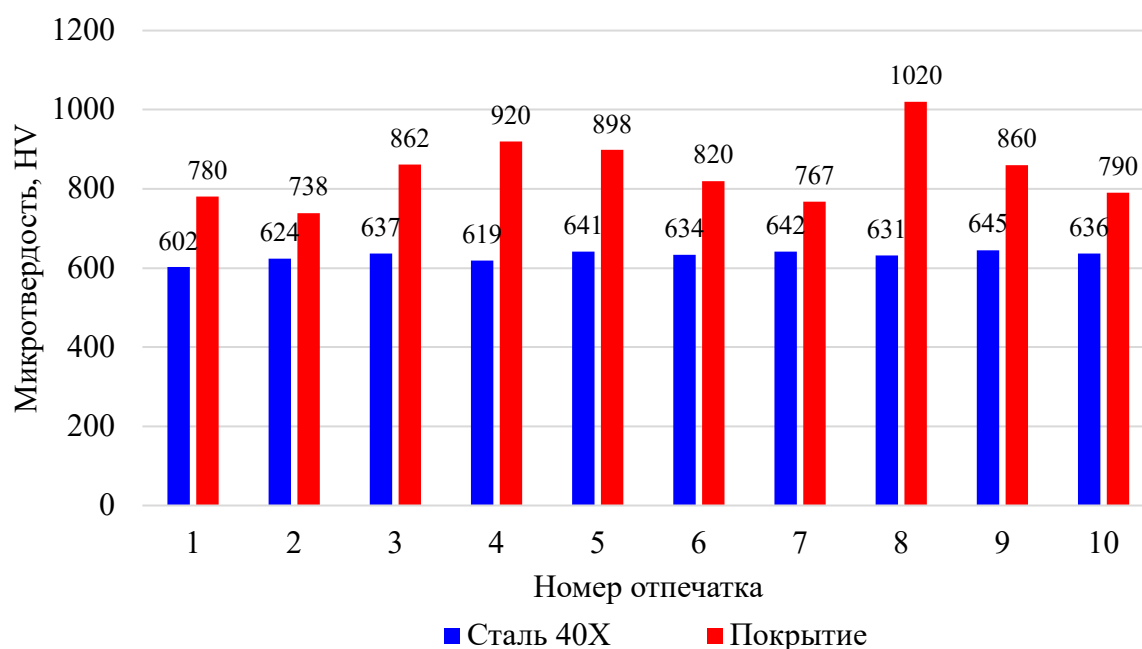


Рисунок – Микротвердость HV зоны соединения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафонов, В. В. Механизм упрочнения гальванических покрытий деталей сельскохозяйственных машин наноразмерными частицами / В. В. Сафонов, С. А. Шишурин, П. А. Горбушин // Агропродовольственная политика России. – 2023. – № 4 (107). – С. 38-43.

2. Перспективные способы упрочнения поверхностей режущих элементов сельскохозяйственной техники / П. А. Горбушин, С. А. Шишурин, И. Ю. Илларионов, Р. В. Вольсков // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: Материалы XXXVI Международной научно-технической конференции имени В.В. Михайлова, Саратов, 17–18 мая 2023 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, 2023. – С. 211-218.
3. Определение влияния состава электролита и режимов нанесения хромовых покрытий на их микротвердость / П. А. Горбушин, В. В. Сафонов, С. А. Шишурин [и др.] // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: Материалы XXXVII Международной научно-технической конференции имени В.В. Михайлова, Саратов, 15–16 мая 2024 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, 2024. – С. 140-147.
4. Солнцев, Ю. П. Специальные материалы в машиностроении: учебник для вузов / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин, В. Ю. Пиирайнен. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 664 с.
5. Сафронов, Д. Д. Новинки автомобильной промышленности в России / Д. Д. Сафронов, Р. Р. Девликамов, Ю. В. Поливяный // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: Сборник материалов Международной научно-практической конференции молодых ученых, Пенза, 31 октября – 01 2024 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2024. – С. 82-85.
6. Технология упрочнения и восстановления деталей сельскохозяйственной техники нанокпозиционным гальваническим железнением / В. В. Сафонов [и др.] // Научная жизнь. – 2019. – № 2. – С. 33-42.

REFERENCES

1. Safonov, V. V. Mechanism of strengthening galvanic coatings of agricultural machine parts with nanosized particles / V. V. Safonov, S. A. Shishurin, and P. A. Gorbushin // Agro-Food Policy in Russia. – 2023. – No. 4 (107). – pp. 38-43.
2. Perspectives on the hardening of the surfaces of cutting elements of agricultural machinery / P. A. Gorbushin, S. A. Shishurin, I. Yu. Illarionov, R. V. Volskov // Problems of Economy and Operation of Automotive and Tractor Equipment: Proceedings of the XXXVI International Scientific and Technical Conference named after V.V. Mikhailov, Saratov, May 17–18, 2023. Saratov: Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, 2023. pp. 211-218.
3. Determination of the effect of electrolyte composition and chromium coating modes on their microhardness / P. A. Gorbushin, V. V. Safonov, S. A. Shishurin [et

- al.] // Problems of efficiency and operation automotive equipment: Proceedings of the XXXVII International Scientific and Technical Conference named after V.V. Mikhailov, Saratov, May 15-16, 2024. – Saratov: Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, 2024. – P. 140-147.
4. Solntsev, Yu. P. Special Materials in Mechanical Engineering: Textbook for Universities / Yu. P. Solntsev, E. I. Pryakhin, V. Yu. Piirainen. – 4th ed., ster. – Saint Petersburg: Lan, 2024. – 664 p.
5. Safronov, D. D. New Products of the Automotive Industry in Russia / D. D. Safronov, R. R. Devlikamov, Yu. V. Polivyaniy // Contribution of Young Scientists to the Innovative Development of the Russian Agro-Industrial Complex: Collection of Materials of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Penza, October 31 – January 01, 2024. – Penza: Penza State Agrarian University, 2024. – pp. 82-85.
6. Technology of hardening and restoration of agricultural machinery parts by nanocomposite galvanic ironing / V. V. Safonov [et al.] // Scientific Life. – 2019. – No. 2. – pp. 33-42.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Кабиев А.Г., Юдин Д.Е., Миронова Е.А., Долгополов Г.Г., Степаненко Д.П.

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация: В работе рассмотрено влияние нанодисперсных добавок на свойства композиционных хромоых гальванических покрытий. Проведены исследования микротвердости и износостойкости покрытий, содержащих оксид алюминия и карбид вольфрама. Установлено, что наибольшие значения микротвердости достигаются при введении в электролит оксида алюминия в концентрации 5 г/л. Также выявлено существенное повышение износостойкости покрытий, модифицированных оксидом алюминия, по сравнению с покрытиями, содержащими карбид вольфрама, и традиционными хромоыми покрытиями. Полученные результаты подтверждают перспективность применения нанодисперсных материалов для повышения эксплуатационных характеристик деталей машин.

Ключевые слова: композиционные гальванические покрытия, хромирование, нанодисперсные материалы, оксид алюминия, карбид вольфрама, микротвердость, износостойкость, электрохимическое осаждение, модифицированные покрытия, повышение ресурса деталей.

Original article

RESEARCH OF MICROHARDNESS AND WEAR RESISTANCE OF COMPOSITE GALVANIC COATINGS

*Kabiev A.G., Yudin D.E., Mironova E.A., Dolgoplov G.G.,
Stepanenko D.P.*

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named
after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Abstract: The work examines the influence of nanodispersed additives on the properties of composite chromium electroplating coatings. Studies have been carried out on the microhardness and wear resistance of coatings containing aluminum oxide and tungsten carbide. It has been established that the highest microhardness values are achieved when aluminum oxide is introduced into the electrolyte at a concentration of 5 g/l. A significant increase in the wear resistance of coatings modified with aluminum oxide was also revealed compared to coatings containing tungsten carbide and traditional chromium coatings. The results obtained confirm the promise of using nanodispersed materials to improve the performance characteristics of machine parts.

Keywords: composite galvanic coatings, chrome plating, nanodispersed materials, aluminum oxide, tungsten carbide, microhardness, wear resistance, electrochemical deposition, modified coatings, increasing the service life of parts.

Надежность и долговечность технических систем во многом зависят от состояния их рабочих поверхностей. В процессе эксплуатации детали подвергаются износу, коррозионному воздействию, усталостному разрушению и различным видам деформации, что приводит к снижению работоспособности оборудования. Одним из эффективных способов увеличения срока службы деталей является формирование на их поверхности прочных и износостойких покрытий.

Среди существующих технологий упрочнения широкое распространение получили гальванические методы. Несмотря на ряд преимуществ, традиционные покрытия имеют определенные ограничения по эксплуатационным характеристикам. В связи с этим значительный интерес представляет технология получения композиционных гальванических покрытий, при которой вместе с металлической матрицей на поверхность осаждаются дисперсные частицы, изменяющие структуру и свойства покрытия.

Особое значение для машиностроительной отрасли имеют композиционные покрытия на основе хрома, обладающие высокой твердостью, устойчивостью к изнашиванию и хорошими антифрикционными свойствами. Однако вопросы, связанные с выбором состава электролита, влиянием дисперсных добавок и прогнозированием свойств получаемых покрытий, до настоящего времени изучены недостаточно.

Для оценки влияния нанодисперсных материалов были проведены лабораторные исследования хромовых покрытий, модифицированных частицами оксида алюминия (Al_2O_3) и карбида вольфрама (WC). Осаждение покрытий осуществлялось из стандартного электролита в режиме твердого хромирования при температуре $50\text{ }^\circ\text{C}$ и плотности тока 55 А/дм^2 .

Определение микротвердости проводилось с использованием прибора ПМТ-3. Результаты испытаний показали, что наибольшая твердость наблюдается у покрытий, полученных при содержании нанодисперсного оксида алюминия в электролите на уровне 5 г/л . Значение микротвердости в данном случае достигало 1400 НВ . Для покрытий, содержащих карбид вольфрама в аналогичных условиях, максимальная микротвердость составила 1180 НВ .

Оценка износостойкости выполнялась на машине трения МИ-1 по схеме взаимодействия вращающегося ролика и неподвижной колодки с покрытием. Испытания проводились как в чистом дизельном топливе, так и в топливе с добавлением кварцевого абразива. Концентрация абразивных частиц составляла $3 \pm 0,5\text{ \%}$ по массе. Продолжительность каждого испытания равнялась шести часам, частота вращения составляла 300 мин^{-1} , а нагрузка на образец — 650 Н .

В качестве материала образцов использовалась сталь марки 30ХГСА. Перед началом основных испытаний пары трения проходили предварительную

приработку в течение четырех часов. Износ определяли методом взвешивания на аналитических весах высокой точности.

Полученные результаты показали существенное влияние состава покрытия на его эксплуатационные свойства. Образцы, содержащие оксид алюминия, продемонстрировали наиболее высокую устойчивость к изнашиванию. Их износ оказался в 1,4–1,8 раза меньше по сравнению с покрытиями, модифицированными карбидом вольфрама, и в 2,0–2,5 раза меньше относительно обычных хромовых покрытий без нанодисперсных добавок.

Таким образом, использование нанодисперсного оксида алюминия при формировании композиционных хромовых покрытий позволяет значительно повысить их микротвердость и износостойкость. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения таких покрытий для увеличения ресурса деталей машин и поддержания работоспособности технических объектов в условиях интенсивной эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антропов Л.И., Лебединский Ю.Н.: Композиционные электрохимические покрытия и материалы: - К.: Техника, 1986. – 200 с.
2. Технологии нанесения нанокomпозиционных гальванических покрытий для деталей сельскохозяйственной техники. Сафонов В.В., Шишурин С.А., Горбушин П.А., Добринский Э.К. Рекомендации по получению / Саратов, 2017. – 31 с.
3. Теоретические предпосылки повышения твердости гальванического покрытия железа, модифицированного наноразмерными частицами. Сафонов В.В., Шишурин С.А., Горбушин П.А., Гурьев А.Е. В сборнике: Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК. Сборник научных статей Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал – 2017». 2017. – С. 356-360.
4. Effect of alumina nanoparticles on the structure and physicochemical properties of chromium coatings. Safonov V.V., Shishurin S.A., Semochkin V.S., Zakharevich A.M. Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2015. T. 51. № 6. – С. 517-522.

REFERENCES

1. Antropov L.I., Lebedinsky Yu.N.: Composite electrochemical coatings and materials: - K.: Tekhnika, 1986. – 200 p.
2. Technologies for applying nanocomposite galvanic coatings for parts of agricultural machinery. Safonov V.V., Shishurin S.A., Gorbushin P.A., Dobrinsky E.K. Recommendations for obtaining / Saratov, 2017. – 31 p.
3. Theoretical prerequisites for increasing the hardness of galvanic coating of iron modified with nano-sized particles. Safonov V.V., Shishurin S.A., Gorbushin P.A., Guryev A.E. In the collection: Current problems of scientific and technological progress in the agro-industrial complex. Collection of scientific articles of the

International Agro-Industrial Exhibition “Agrouniversal – 2017”. 2017. – pp. 356-360.

4. Effect of aluminum nanoparticles on the structure and physicochemical properties of chromium coatings. Safonov V.V., Shishurin S.A., Semochkin V.S., Zakharevich A.M. Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2015. T. 51. No. 6. – P. 517-522.

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Научная статья

УДК 621.436.038+355.242.4

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ БИОКЕРОСИНА НА ПАРАМЕТРЫ ТОПЛИВОПОДАЧИ АВТОМОБИЛЬНОГО ДИЗЕЛЯ

Д.А. Уханов

ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», г. Москва

А.П. Уханов

ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ, г. Пенза

Аннотация: Для устойчивого развития агропромышленного комплекса России и снижения «углеродного следа» необходимо развивать биоэкономику на базе более широкого использования возобновляемых биологических ресурсов и экологически чистых моторных топлив. Одним из видов альтернативного моторного топлива для транспортных дизелей является биокеросин на основе авиационного керосина с добавлением к нему рапсового масла и цетаноповышающей присадки в определенной концентрации компонентов. Для подтверждения практической применимости биокеросина в дизелях в первую очередь необходимо определить основные показатели физико-химических свойств и оценить их влияние на параметры топливоподачи.

Ключевые слова: нефтяное дизельное топливо, авиационный керосин, рапсовое масло, присадка, биокеросин, параметры топливоподачи.

Original article

ASSESSING THE IMPACT OF BIOKEROSENE ON THE FUEL SUPPLY PARAMETERS OF A DIESEL VEHICLE

D.A. Ukhanov

FAE «The 25-th state research institute of chemmotology, ministry of defense
of Russia Federation», Moscow, Russia

A.P. Ukhanov

Penza state agrarian university, Penza, Russia

Abstract: For the sustainable development of the Russian agro-industrial complex and the reduction of the carbon footprint, it is necessary to develop a bioeconomy based on the wider use of renewable biological resources and environmentally friendly motor fuels. One of the types of alternative motor fuel for transport diesel engines is biokerosene based on aviation kerosene with the addition of rapeseed oil and a cetane-boosting additive in a certain concentration of components. To confirm the practical applicability of biokerosene in diesel engines, it is first necessary to

determine the main indicators of physical and chemical properties and evaluate their impact on fuel supply parameters.

Keywords: petroleum diesel fuel, aviation kerosene, rapeseed oil, additive, biokerosene, fuel delivery parameters.

Введение. Биоэкономика в России – активно развивающаяся отрасль, основанная на использовании возобновляемых биологических ресурсов и направленная на импортозамещение, технологический суверенитет и переход от сырьевой модели развития к инновационной. В 2026 году запускается национальный проект «Технологическое обеспечение биоэкономики», нацеленный на рост производства на 96% и достижение 40%-ного уровня технологической независимости к 2030 году. Биоэкономика рассматривается как критически важная отрасль для обеспечения продовольственной и биологической безопасности страны.

Одним из перспективных направлений биэкономики в агропромышленном комплексе России является разработка высокотехнологического производства биотоплива и его широкое использование в качестве альтернативного моторного топлива (биодит, биодизель, биоэтанол, биогаз и др.) [1-5]. В рамках этого направления для дизелей автотракторной техники разработано и запатентовано новое бионефтяное топливо – биокеросин [6, 7] на основе авиационного керосина ТС-1 с добавлением к нему рапсового масла (РМ) и цетаноповышающей присадки этилгексилнитрата (ЭГН).

Методика исследований. Для подтверждения возможности практического применения биокеросина (БК) в качестве альтернативного моторного топлива для дизелей были выполнены лабораторные и стендовые исследования.

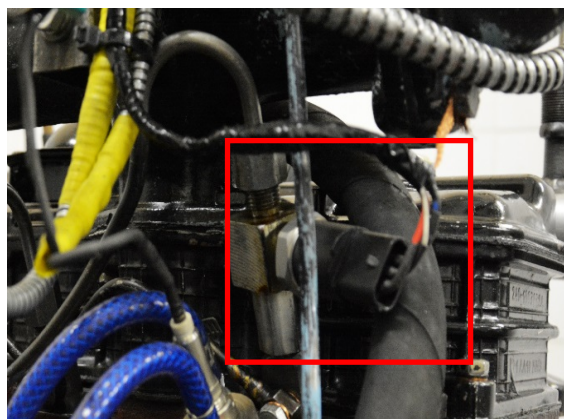
В лабораторных условиях определены основные показатели физико-химических свойств (плотность и кинематическая вязкость) биокеросина марок БК-10, БК-20, БК-30, БК-40 и БК-50 соответственно с массовым содержанием в авиационном керосине рапсового масла 10, 20, 30, 40 и 50% и этилгексилнитрата 0,3% в сравнении с аналогичными показателями нефтяного товарного летнего дизельного топлива (ДТ) марки ДТ-Л-К5.

В стендовых условиях сравнительные экспериментальные исследования проведены на моторном стенде [8] при работе автомобильного турбонаддувного дизеля Д-245.12С на биокеросине вышеуказанных марок и нефтяном товарном топливе ДТ-Л-К5, по результатам которых по осциллограммам давления топлива [9] определены параметры топливоподачи (массовая цикловая подача топлива, максимальное давление топлива перед форсункой и средняя скорость впрыскивания топлива). Дизель при этом оснащался топливным насосом высокого давления 4УТНИ-Т с механическим регулятором частоты вращения коленчатого вала и гидромеханическими форсунками 171.1112010-01, отрегулированными на давление начала впрыска топлива 22,5 МПа и с эффективным проходным сечением отверстий распылителей 0,24-0,26 мм² [10].

Осциллограммы давления топлива перед входом в форсунку снимались при помощи осциллографа, плата которого встроена в промышленный ноутбук, и тензометрического датчика давления топлива фирмы Bosch 0281002405, установленного в разрыв линии высокого давления между топливопроводом высокого давления и штуцером входного канала форсунки посредством специального переходника (рисунок 1).



а) общий вид



б) место установки

Рисунок 1. Тензометрический датчик давления топлива фирмы Bosch 0281002405

Сигналы с датчика поступали через соответствующий канал на плату осциллографа, которые отображались на дисплее ноутбука в виде осциллограмм давления топлива в координатах «давление топлива – время» (рисунок 2).

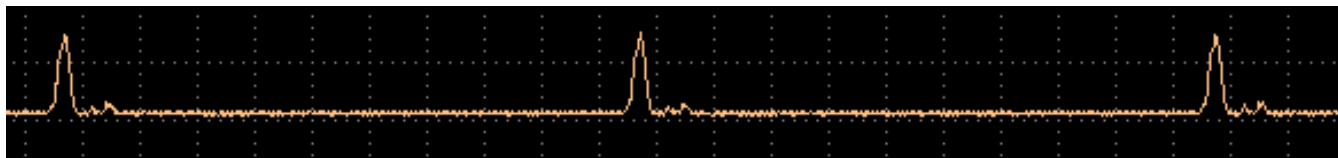


Рисунок 2. Фрагменты записи осциллограмм давления топлива перед форсункой

Результаты исследований. Результаты определения показателей физико-химических свойств исследуемых топлив приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели физико-химических свойств исследуемых моторных топлив

Исследуемые моторные топлива	Плотность при 15°С, кг/м ³	Кинематическая вязкость при 40 °С, мм ² /с
Летнее ДТ по ГОСТ 32511–2013	820-845	2,0-4,5
ДТ-Л-К5	837,3	2,59
БК-10 (89,7%ТС-1+10%РМ+0,3%ЭГН)	801,0	1,42
БК-20 (79,7%ТС-1+20%РМ+0,3%ЭГН)	815,1	2,01

БК-30 (69,7%ТС-1+30%РМ+0,3%ЭГН)	828,2	2,68
БК-40 (59,7%ТС-1+40%РМ+0,3%ЭГН)	841,7	3,72
БК-50 (49,7%ТС-1+50%РМ+0,3%ЭГН)	855,3	5,20

Из анализа данных таблицы 1 следует, что биокеросин марок БК-30 и БК-40 по плотности и кинематической вязкости сопоставим с товарным топливом ДТ-Л-К5 и соответствует требованиям ГОСТ 32511–2013 на летнее дизельное топливо.

На рисунках 3-5 представлены графические зависимости параметров топливоподачи при работе дизеля на нефтяном ДТ и биокеросине в зависимости от частоты вращения коленчатого вала на режимах внешней скоростной характеристики.

Величина цикловой подачи топлива влияет на состав топливовоздушной горючей смеси в дизеле и должна соответствовать паспортным данным. Выход данного параметра за пределы допускаемых значений приводит к снижению мощности дизеля. Номинальная величина массовой цикловой подачи топлива для эффективной работы дизеля Д-245.12С с насосом 4УТНИ-Т на нефтяном летнем ДТ составляет 0,075-0,081 г/цикл при номинальной частоте вращения коленчатого вала 2400 мин⁻¹ [10]. Этому паспортному значению соответствует только работа дизеля на биокеросине марки БК-50, у которого массовая цикловая подача равна 0,0765 г/цикл (рисунок 3). При работе дизеля на биокеросине марок БК-10, БК-20, БК-30 и БК-40 цикловые подачи несколько ниже, чем при работе на БК-50, причем по мере уменьшения в биокеросине рапсового масла, тем меньше цикловая подача топлива.

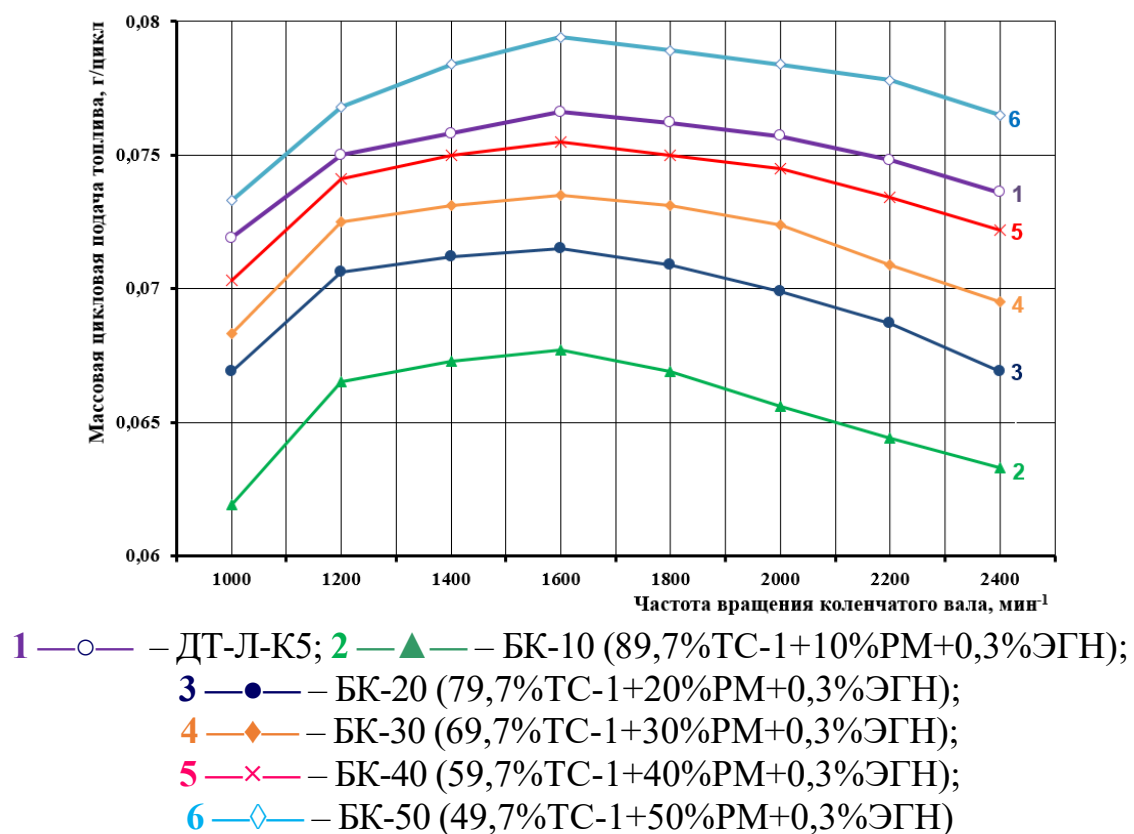


Рисунок 3. Массовая цикловая подача топлива

Наибольшая величина максимального давления топлива перед форсункой составляет при работе дизеля также на нефтяном ДТ и биокеросине БК-50 по причине большей цикловой подачи (рисунок 4). Например, на частоте вращения коленчатого вала 2400 мин^{-1} при работе дизеля на биокеросине БК-50 максимальное давление топлива перед форсункой равно 53,09 МПа, на нефтяном ДТ – 49,94 МПа. По мере уменьшения доли рапсового масла в биокеросине с 50% до 10% снижается его плотность и вязкость (см. табл.1), а следовательно, и максимальное давление топлива на входе в форсунку соответственно с 53,09 МПа до 49,28 МПа.

Повышенные значения скорости впрыскивания топлива увеличивают дальность струи в камере сгорания дизеля, способствуют улучшению процесса смесеобразования во всем объеме камеры сгорания и последующему более полному сгоранию топливовоздушной смеси. Средняя скорость впрыскивания топлива наибольшая при работе дизеля на биокеросине БК-40 и БК-50, которая при частоте вращения коленчатого вала 2400 мин^{-1} равна соответственно 4,24 и 4,39 МПа/град. п.к.в. (рисунок 5).

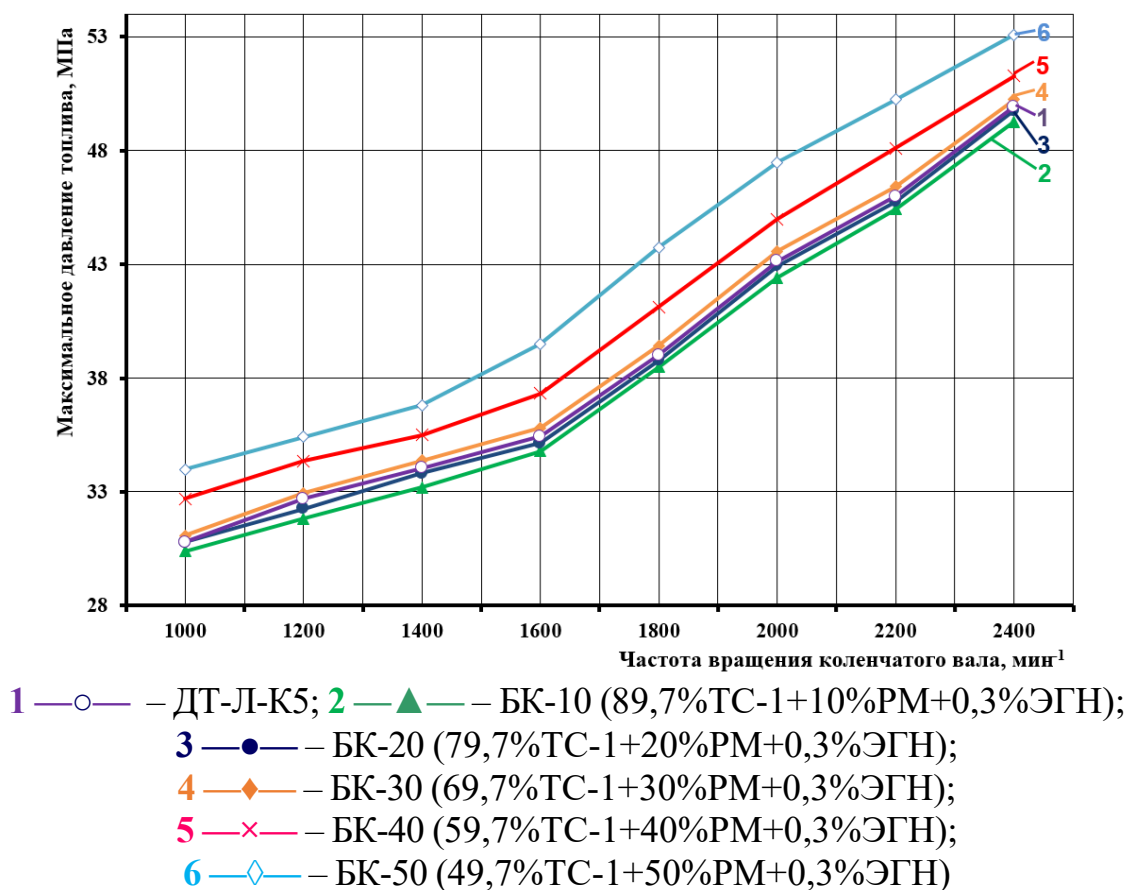


Рисунок 4. Максимальное давление топлива перед форсункой

При работе дизеля на нефтяном ДТ и биокеросине марок БК-10, БК-20 и БК-30 средняя скорость впрыскивания топлива несколько меньше и находится примерно в одном диапазоне у всех этих трех марок биокеросина. Например, при работе дизеля на нефтяном ДТ средняя скорость впрыскивания топлива равна 4,13 МПа/град. п.к.в., на биокеросине БК-20 – 4,11 МПа/град. п.к.в. Пониженные значения скорости впрыскивания топлива могут привести к

неравномерному распределению биокеросина марок БК-10, БК-20 и БК-30 по всему объему камеры сгорания и запаздыванию воспламенения этих марок биокеросина в дизеле.

Заключение. Биокеросин БК-50 обеспечивает наилучшие показатели дизеля по параметрам топливоподачи, а по цикловой подаче соответствует паспортному значению испытуемого дизеля Д-245.12С с топливным насосом высокого давления 4УТНН-Т, но несколько отличается от требований ГОСТ 32511–2013 по плотности и кинематической вязкости.

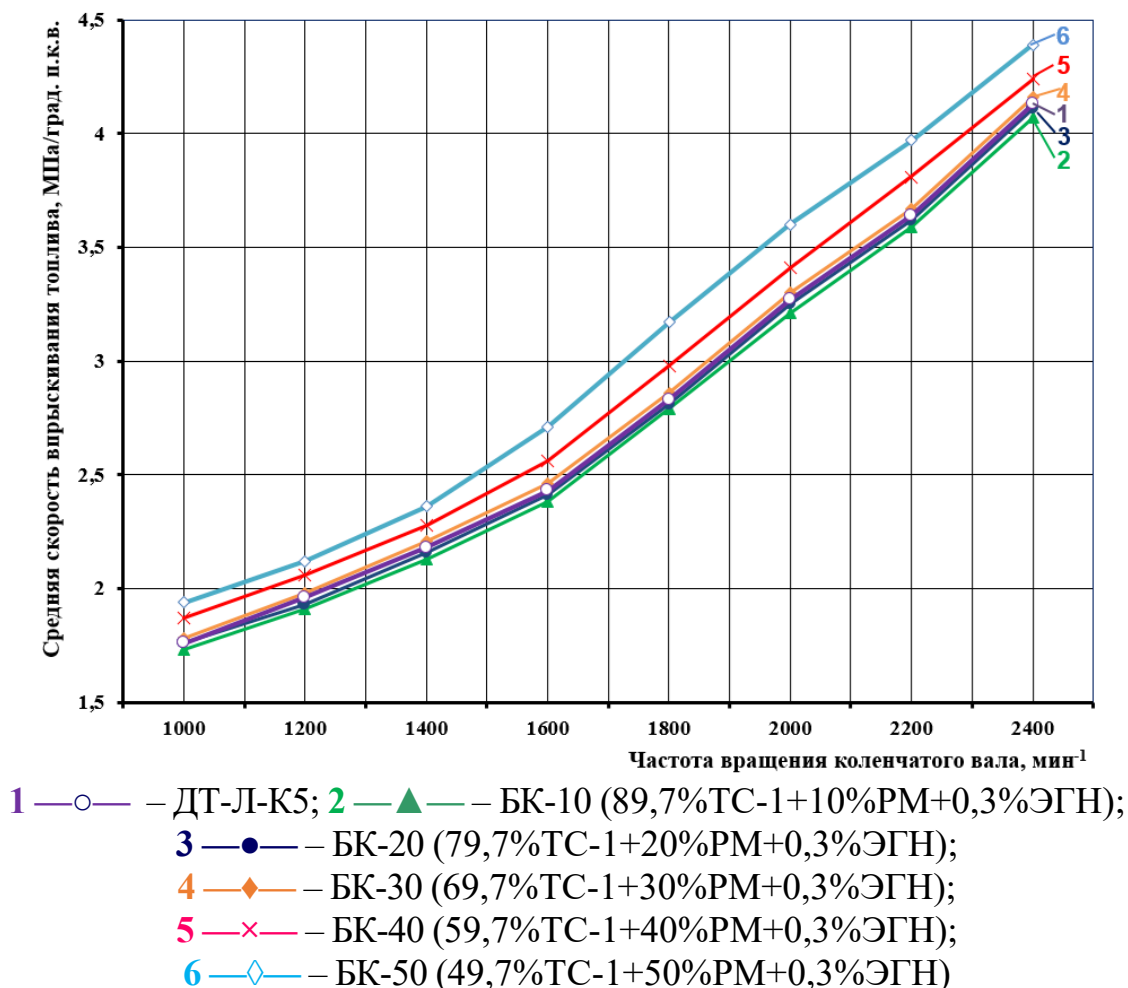


Рисунок 5. Средняя скорость впрыскивания топлива

Биокеросин БК-40 соответствует ГОСТ 32511–2013 по плотности и кинематической вязкости и обеспечивает наилучшие показатели по максимальному давлению топлива на входе в форсунку и средней скорости впрыскивания топлива по сравнению с нефтяным топливом марки ДТ-Л-К5. Например, при работе дизеля на биокеросине БК-40 и дизельном топливе ДТ-Л-К5 при частоте вращения коленчатого вала 2400 мин⁻¹ максимальное давление топлива перед форсункой равно соответственно 51,28 МПа и 49,94 МПа, средняя скорость впрыскивания топлива – 4,24 МПа/град. п.к.в. и 4,13 МПа/град. п.к.в.

Таким образом, биокеросин БК-40 (59,7%ТС-1+40%РМ+0,3%ЭГН) по исследуемым показателям физико-химических свойств и параметрам

топливоподачи наиболее близок к аналогичным показателям и параметрам товарного нефтяного топлива ДТ-Л-К5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уханов А.П. Опыт использования сурепно-минерального топлива в дизеле сельскохозяйственного трактора: монография / А.П. Уханов, Д.А. Уханов. – Пенза: РИО ПГСХА, 2016. – 179 с.
2. Патент 91929 РФ, МПК В 28 С 5/02. Смеситель-дозатор топлива / А.П. Уханов, В.А. Голубев, Е.С. Зыкин. – №2009141314/22; Заявл. 09.11.2009; Оpubл. 10.03.2010, Бюл. № 7.
3. Патент 2503491 РФ, МПК В 01 F 5/06. Смеситель минерального топлива и растительного масла с активным приводом / А.П. Уханов, Д.А. Уханов, Е.А. Сидоров, Е.А. Хохлова. – № 2012128420/05; Заяв. 05.07.2012; Оpubл. 10.01.2014, Бюл. № 1.
4. Показатели физико-химических, теплотворных и трибологических свойств масла крамбе и дизельного смесового топлива / А.П. Уханов, О.С. Володько, А.П. Быченин, М.П. Ерзамаев // Нива Поволжья. – 2018. – № 2 (47). – С. 141-148.
5. Снижение износа плунжерных пар ТНВД применением смесового рапсово-минерального топлива: монография / Д.А. Уханов, А.П. Уханов, Е.Г. Ротанов, А.С. Аверьянов. – Пенза: РИО ПГАУ, 2017. – 212 с.
6. Патент 2802026 РФ, МПК C10L 1/08, C10L 1/02, C10L 1/19. Топливная композиция для дизельных двигателей внутреннего сгорания / Д.А. Уханов, А.Д. Черепанова. – №2022126888; Заяв. 17.10.2022; Оpubл. 22.08.2023, Бюл. № 24.
7. Патент 2838719 РФ, МПК C10L1/88, C10L1/08, C10L1/02, C10L1/12. Биокеросин для транспортных дизелей / А.П. Уханов, А.Д. Уханов. – №2024125524; Заяв. 30.08.2024; Оpubл. 22.04.2025, Бюл. № 12.
8. Тормозная установка для оценки влияния моторных топлив на процесс сгорания в дизеле / Д.А. Уханов, А.И. Лубенцов, И.И. Крикун, Р.И. Алибеков // Эксплуатация автотракторной и сельскохозяйственной техники: опыт, проблемы, инновации, перспективы: сборник статей V Международной НПК, посвященной 70-летию Пензенского государственного аграрного университета. – Пенза: РИО ПГАУ, 2021. – С. 98-102.
9. Способ и средства улучшения эксплуатационных показателей тракторного дизеля / М.В. Рыблов, А.П. Уханов, Д.А. Уханов // Научное обозрение. – 2014. – № 3. – С. 42-49.
10. Руководство по эксплуатации. Дизели Д-245.7, Д-245.9, Д-245.12С. – Минск, 2006. – 76 с.

REFERENCES

1. Ukhanov A.P. Experience of using rapeseed-mineral fuel in the diesel engine of an agricultural tractor: monograph / A.P. Ukhanov, D.A. Ukhanov. – Penza: RIO PGSKhA, 2016. – 179 p.

2. Patent 91929 of the Russian Federation, IPC B 28 C 5/02. Fuel mixer-dispenser / A.P. Ukhanov, V.A. Golubev, E.S. Zykin. – No. 2009141314/22; Claimed 09.11.2009; Published 10.03.2010, Bulletin No. 7.
3. Patent 2503491 of the Russian Federation, IPC B 01 F 5/06. Mixer of mineral fuel and vegetable oil with an active drive / A.P. Ukhanov, D.A. Ukhanov, E.A. Sidorov, E.A. Khokhlova. – No. 2012128420/05; Appl. 05.07.2012; Published 10.01.2014, Bulletin No. 1.
4. Indicators of physicochemical, calorific and tribological properties of crambe oil and diesel mixed fuel / A.P. Ukhanov, O.S. Volodko, A.P. Bychenin, M.P. Erzamaev // Niva Povolzhya. – 2018. – No. 2 (47). – P. 141-148.
5. Reducing wear of plunger pairs of fuel injection pumps by using mixed rapeseed-mineral fuel: monograph / D.A. Ukhanov, A.P. Ukhanov, E.G. Rotanov, A.S. Averyanov. – Penza: RIO PGAU, 2017. – 212 p.
6. Patent 2802026 RF, IPC C10L 1/08, C10L 1/02, C10L 1/19. Fuel composition for diesel internal combustion engines / D.A. Ukhanov, A.D. Cherepanova. – No. 2022126888; Appl. 17.10.2022; Published 22.08.2023, Bulletin No. 24.
7. Patent 2838719 of the Russian Federation, IPC C10L1/88, C10L1/08, C10L1/02, C10L1/12. Biokerosene for transport diesel engines / A.P. Ukhanov, A.D. Ukhanov. – No. 2024125524; Appl. 30.08.2024; Published 22.04.2025, Bulletin No. 12.
8. Brake unit for assessing the influence of motor fuels on the combustion process in a diesel engine / D.A. Ukhanov, A.I. Lubentsov, I.I. Krikun, R.I. Alibekov // Operation of automotive and agricultural machinery: experience, problems, innovations, prospects: a collection of articles from the V International Scientific and Practical Conference dedicated to the 70th anniversary of the Penza State Agrarian University. – Penza: RIO PGAU, 2021. – P. 98-102.
9. Method and means for improving the performance of a tractor diesel engine / M.V. Ryblov, A.P. Ukhanov, D.A. Ukhanov // Scientific Review. – 2014. – No. 3. – P. 42-49.
10. Operation manual. Diesel engines D-245.7, D-245.9, D-245.12S. – Minsk, 2006. – 76 p.

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТОПЛИВОПОДАЧИ, ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА, ИНДИКАТОРНЫХ И ЭФФЕКТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЯ ПРИ ЕГО РАБОТЕ НА БИОНЕФТЯНОЙ КОМПОЗИЦИИ

Д.А. Уханов¹, В.Ю. Быстров^{1,2}, Ю.А. Гольцев^{1,2}, И.Д. Глазунов¹

¹ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», г. Москва, Россия

²Пензенский государственный аграрный университет, г. Пенза, Россия

Аннотация: Для расширения ресурсной и номенклатурной базы моторных топлив для дизелей автотракторной техники авторами разработана бионефтяная композиция, получаемая смешиванием рыжикового масла и бензина (автомобильного или авиационного). Для широкого применения нового моторного топлива на начальном этапе необходимо выполнить теоретические исследования по оценке влияния его физико-химических и эксплуатационных свойств на параметры топливоподачи, показатели рабочего процесса, индикаторные и эффективные показатели дизеля. Результаты расчетов показывают, что показатели дизеля при работе на бионефтяной композиции практически идентичны аналогичным показателям дизеля при работе на товарном нефтяном дизельном топливе.

Ключевые слова: бионефтяная композиция, нефтяное дизельное топливо, бензин, рыжиковое масло, дизель, показатели рабочего процесса, индикаторные и эффективные показатели.

Original article

COMPUTATIONAL AND EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF FUEL SUPPLY PARAMETERS WORK PROCESS PERFORMANCE, INDICATOR, AND EFFECTIVE PERFORMANCE OF A DIESEL ENGINE OPERATING WITH A BIO-OIL COMPOSITION

D.A. Ukhanov¹, V.Yu. Bystrov^{1,2}, Yu.A. Goltsev^{1,2}, I.D. Glazunov¹

¹FAE «The 25-th state research institute of chemmotology, ministry of defense
of Russia Federation», Moscow, Russia

²Penza State Agrarian University, Penza, Russia

Abstract: To expand the resource base of motor fuels for diesel engines in automotive and tractor equipment, a bio-oil composition has been developed, obtained by mixing camelina oil and gasoline (automotive or aviation). For the widespread use of new motor fuel, at the initial stage it is necessary to carry out theoretical studies to assess the influence of its physical, chemical and operational properties on the performance indicators of the working process, indicator and

effective indicators of diesel fuel. The calculation results show that the performance of a diesel engine running on a bio-oil composition is almost equivalent to similar performance of a diesel engine running on commercial petroleum diesel fuel.

Keywords: bio-oil composition, petroleum diesel fuel, gasoline, camelina oil, diesel, process indicators, indicator and effective indicators.

Введение. Переход на альтернативное моторное топливо из возобновляемых источников – один из путей декарбонизации экономики страны и решения проблемы экономии нефтяного дизельного топлива (НДТ). Наиболее известным моторным топливом для автотракторных дизелей является дизельное смесевое топливо (биодит или биодизель), основой которого является товарное нефтяное ДТ с добавлением в него биодобавки в виде растительного (рапсового, рыжикового, редечного, горчичного и др.) масла или продукта его переработки – метилового (этилового) эфира растительного масла [1-4]. Однако, основой смесевого моторного топлива могут являться и другие нефтяные топлива, например, керосины и бензины, широко применяемые в транспортных двигателях внутреннего сгорания [5]. Одним из таких видов моторного топлива для дизелей автотракторной техники является бионефтяная композиция, получаемая смешиванием автомобильного или авиационного бензина с рыжиковым маслом технического назначения [6, 7]. Для подтверждения использования запатентованной бионефтяной композиции в дизелях необходимо вначале теоретически оценить влияние ее физико-химических и эксплуатационных свойств на мощностные и топливно-экономические показатели полноразмерного дизеля [8].

Методика исследований. Исходными данными для расчета показателей атмосферного дизеля MMZ-3LD при работе на бионефтяной композиции и НДТ в режиме полной мощности при частоте вращения коленчатого вала 3000 мин⁻¹ являются действительный расход воздуха, часовой расход топлива, низшая теплота сгорания, которые предварительно определяются экспериментальным путем на моторном стенде.

Использование разработанной бионефтяной композиции вносит существенные изменения в протекание рабочего процесса дизелей, что обусловлено некоторыми отличиями показателей физико-химических и эксплуатационных свойств бензинов от дизельного топлива, а также наличием в рыжиковом масле избыточного содержания атомов свободного кислорода, участвующего в процессе сгорания в дизеле.

Коэффициент избытка воздуха

$$\alpha = \frac{G_{\text{ВД}}}{G_{\text{ВТ}}} = \frac{G_{\text{ВД}}}{\ell_{\text{о_БТК}} \cdot G_{\text{Т_БТК}}}, \quad (1)$$

где $G_{\text{ВД}}$ – действительный расход воздуха, кг/ч; $G_{\text{ВТ}}$ – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания бионефтяной композиции или НДТ в течение часа, кг/ч; $\ell_{\text{о_БТК}}$ – теоретически необходимое количество

воздуха для сгорания 1 кг бионефтяной композиции или НДТ, кг/кг; $G_{T_{\text{БТК}}}$ – часовой расход бионефтяной композиции или НДТ дизелем, кг/ч.

Для замера действительного часового расхода воздуха использовали расходомер воздуха, подключенный к вычислительному блоку Degussa DR-FL 6000.

Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания бионефтяной композиции в течение часа равно

$$G_{\text{вг}} = \ell_{o_{\text{БТК}}} \cdot G_{T_{\text{БТК}}}, \text{ кг.} \quad (2)$$

Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг бионефтяной композиции составит

$$\ell_{o_{\text{БТК}}} = \ell_{o_{\text{Б}}} + \ell_{o_{\text{РыжМ}}}, \text{ кг/кг,} \quad (3)$$

где $\ell_{o_{\text{Б}}}$, $\ell_{o_{\text{РыжМ}}}$ – теоретически необходимое количество воздуха в кг для сгорания 1 кг бензина и рыжикового масла, кг/кг.

В свою очередь, теоретически необходимое количество воздуха для сгорания заданной дозы K_1 бензина определится из соотношений:

$$\ell_{o_{\text{Б}}} = \frac{1}{0,232} \cdot \left(\frac{8}{3} C_1 \cdot K_1 \cdot 10^{-2} + 8 H_1 K_1 \cdot 10^{-2} - O_1 \cdot K_1 \cdot 10^{-2} + S_1 \cdot K_1 \cdot 10^{-2} + N_1 \cdot K_1 \cdot 10^{-2} \right), \text{ кг/кг.} \quad (4)$$

Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания заданной дозы K_2 рыжикового масла определится

$$\ell_{o_{\text{РыжМ}}} = \frac{1}{0,232} \cdot \left(\frac{8}{3} C_2 \cdot K_2 \cdot 10^{-2} + 8 H_2 K_2 \cdot 10^{-2} - O_2 \cdot K_2 \cdot 10^{-2} + S_2 \cdot K_2 \cdot 10^{-2} + N_2 \cdot K_2 \cdot 10^{-2} \right), \text{ кг/кг,} \quad (5)$$

где C_1 , H_1 , O_1 , N_1 , S_1 – содержание углерода, водорода, кислорода, азота и серы в бензине; C_2 , H_2 , O_2 , N_2 , S_2 – содержание углерода, водорода, кислорода, азота и серы в рыжиковом масле; 0,232 – массовое содержание кислорода в воздухе; $\frac{8}{3}$, 8 – количество кислорода для полного сгорания углерода и водорода; K_1 , K_2 – процентное соотношение (доза) бензина и рыжикового масла в бионефтяной композиции (при любом соотношении компонентов их сумма $K_1 + K_2 = 100\%$).

Содержание углерода, водорода, кислорода, азота и серы в бензине и рыжиковом масле определяли с помощью высокоточного анализатора элементного состава «ELEMENTAR VARIO MICRO CUBE» (рисунок 1).

Для определения массовой цикловой подачи бионефтяной композиции или НДТ использовали следующую зависимость

$$g_{\text{ц}} = \frac{G_{T_{\text{БТК}}}}{0,12 \cdot n_e} \cdot \frac{\tau}{z}, \text{ г/цикл,} \quad (6)$$

где n_e – частота вращения коленчатого вала дизеля, мин^{-1} ; τ – тактность дизеля ($\tau=4$); z – число цилиндров дизеля ($z=3$).

Тогда для дизеля MMZ-3LD
$$g_{\text{ц}} = \frac{G_{\text{ТБТК}}}{0,09 \cdot n_e}, \text{ г/цикл.}$$



Рисунок 1. Анализатор элементного состава «ELEMENTAR VARIO MICRO CUBE»

Эффективный удельный расход бионефтяной композиции

$$g_e = \frac{G_{\text{ТБТК}}}{N_e} \cdot 10^3, \text{ г/(кВт} \cdot \text{ч)}, \quad (7)$$

где N_e – эффективная мощность дизеля, кВт.

Эффективная мощность дизеля

$$N_e = \frac{P_{\text{Т}} \cdot n_e}{973}, \text{ кВт}, \quad (8)$$

где $P_{\text{Т}}$ – нагрузка на тормозе, кг·м.

Среднее эффективное давление

$$P_e = \frac{30 \cdot N_e \cdot \tau}{V_h \cdot n_e \cdot z}, \text{ МПа}, \quad (9)$$

где V_h – рабочий объем одного цилиндра, л ($V_h = 0,533$ л).

Тогда для дизеля MMZ-3LD
$$P_e = \frac{75 \cdot N_e}{n_e}, \text{ МПа.}$$

Среднее индикаторное давление

$$P_i = P_e + P_{мп}, \text{ МПа}, \quad (10)$$

где $P_{мп}$ – среднее давление механических потерь (МПа), определяемое по выражению

$$P_{мп} = 0,09 + 0,0008 \cdot n_e \cdot r_{кр}, \text{ МПа}, \quad (11)$$

где $r_{кр}$ – радиус кривошипа коленчатого вала дизеля, м ($r_{кр} = 0,045$ м).

Тогда для дизеля MMZ-3LD $P_{мп} = 0,09 + 0,000036 \cdot n_e$, МПа.

Механический коэффициент полезного действия

$$\eta_{мп} = \frac{P_e}{P_i}. \quad (12)$$

Эффективный коэффициент полезного действия

$$\eta_e = \frac{3600}{g_e \cdot H_u}, \quad (13)$$

где H_u – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг (определялась экспериментально с помощью калориметрической бомбы).

Индикаторная мощность дизеля

$$N_i = \frac{N_e}{\eta_M}, \text{ кВт}. \quad (14)$$

Индикаторный удельный расход бионефтяной композиции

$$g_i = \frac{G_{ТБТК}}{N_i} \cdot 10^3, \text{ г/(кВт} \cdot \text{ч)}. \quad (15)$$

Индикаторный коэффициент полезного действия

$$\eta_i = \frac{\eta_e}{\eta_{мп}}.$$

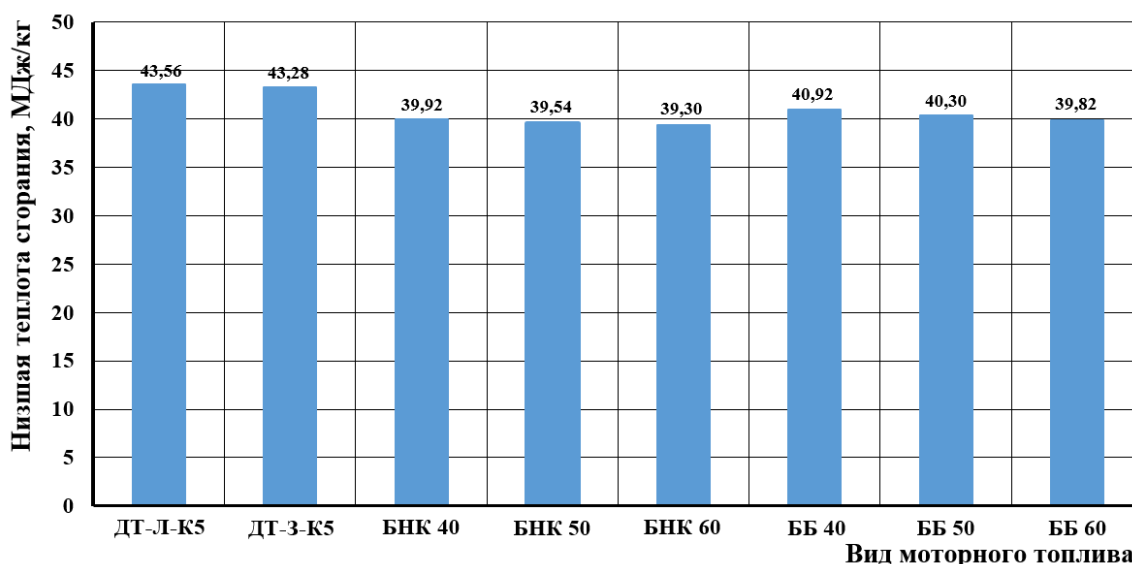
(16)

Мощность механических потерь дизеля

$$N_{мп} = N_i - N_e, \text{ кВт}. \quad (17)$$

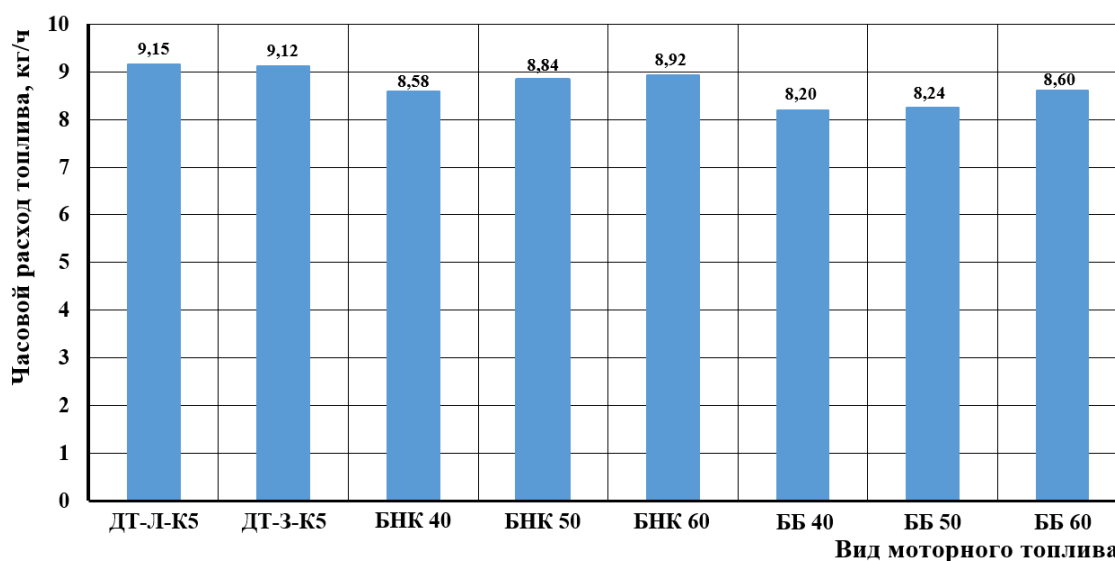
Результаты исследований. Результаты определения низшей теплоты сгорания и результаты расчетов параметров топливоподачи, показателей рабочего процесса, индикаторных и эффективных показателей дизеля при его работе на бионефтяной композиции (автомобильном и авиационном бензине с добавкой рыжикового масла) различного состава в сравнении с работой дизеля на летнем и зимнем ДТ приведены на рисунках 1-9.

Анализ данных свидетельствует, что низшая теплота сгорания летнего НДТ составляет 43,56 МДж/кг (рисунок 1), бионефтяной композиции содержанием в автомобильном и авиационном бензине 50% рыжикового масла соответственно 39,54 МДж/кг и 40,30 МДж/кг, т.е. низшая теплота сгорания меньше аналогичного показателя НДТ на 7,5-9,2%, что объясняется меньшим содержанием в рыжиковом масле углерода и водорода.



ДТ-Л-К5 – летнее ДТ; ДТ-З-К5 – зимнее ДТ; БНК 40, 50, 60 – процентное содержание рыжикового масла в автомобильном бензине; ББ 40, 50, 60 – процентное содержание рыжикового масла в авиационном бензине
Рисунок 1. Гистограмма низшей теплоты сгорания моторных топлив

С увеличением процентного содержания рыжикового масла в автомобильном и авиационном бензине часовой расход бионефтяной композиции увеличивается (рисунок 2). Увеличение часового расхода бионефтяной композиции при увеличении в нем доли рыжикового масла объясняется увеличением цикловой подачи. Часовой расход бионефтяной композиции меньше по сравнению с НДТ, вследствие меньшей массы бионефтяной композиции в надплунжерном пространстве насосных секций топливного насоса высокого давления.



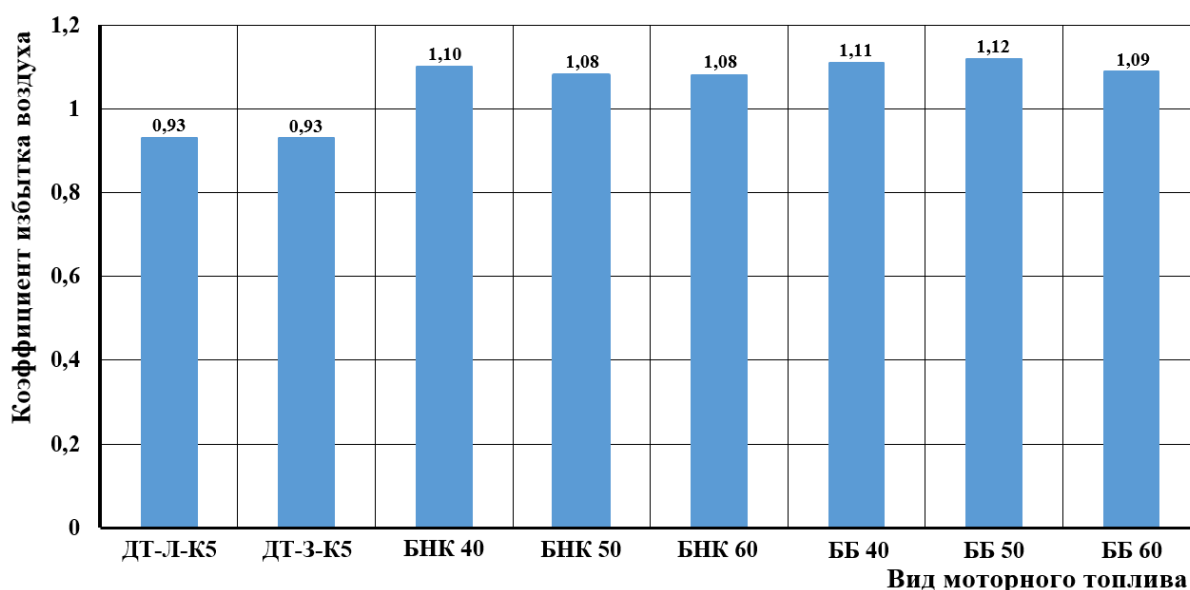
ДТ-Л-К5 – летнее ДТ; ДТ-З-К5 – зимнее ДТ; БНК 40, 50, 60 – процентное содержание рыжикового масла в автомобильном бензине; ББ 40, 50, 60 – процентное содержание рыжикового масла в авиационном бензине
Рисунок 2. Гистограмма часового расхода топлива

При работе дизеля на летнем и зимнем НДТ в режиме полной мощности коэффициент избытка воздуха составляет $\alpha = 0,93$ (рисунок 3), тогда как при работе на бионефтяной композиции коэффициент избытка воздуха находится в пределах $\alpha = 1,08 \dots 1,12$. Это свидетельствует о том, что дизель с бионефтяной композицией работает на более обедненных горючих смесях, чем на НДТ.

С увеличением содержания рыжикового масла в автомобильном бензине происходит снижение индикаторной мощности дизеля (рисунок 4). Однако с увеличением рыжикового масла в авиационном бензине происходит увеличение индикаторной мощности дизеля с 33,25 кВт до 33,78 кВт (на 1,6%). При добавлении в авиационный бензин 50 и 60% рыжикового масла индикаторная мощность увеличивается по сравнению с НДТ.

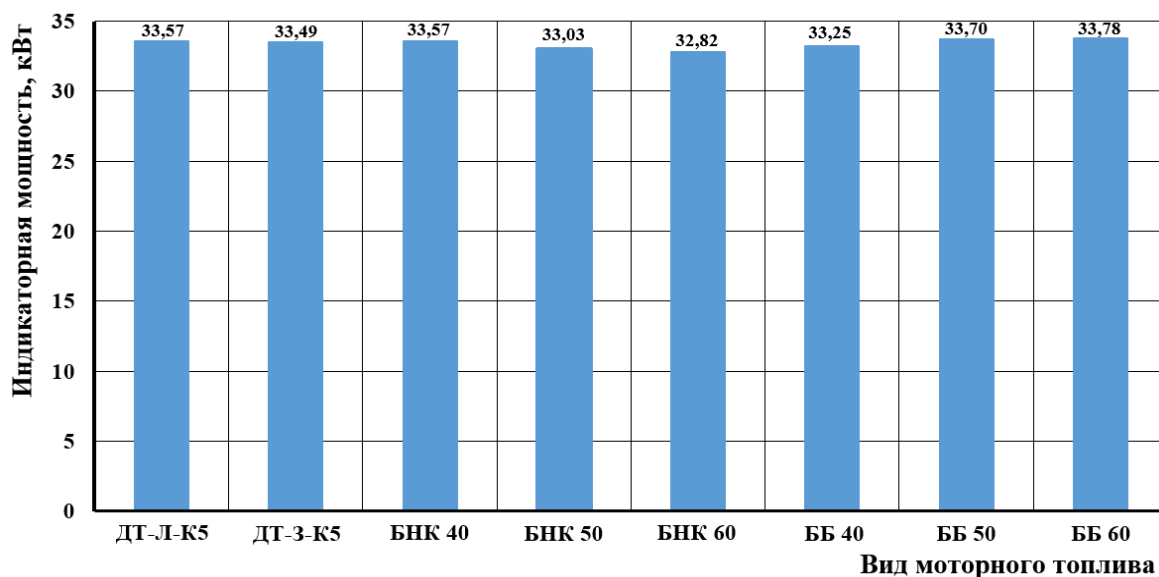
Удельный индикаторный расход НДТ выше по сравнению с бионефтяной композицией различного состава (рисунок 5). Например, у летнего НДТ удельный индикаторный расход составил 272,6 г/кВт·ч, бионефтяной композиции БНК 50 (50%АИ-92-К5+50%РыжМ) – 267,6 г/кВт·ч, ББ 50 (50%Аvgas100LL +50%РыжМ) – 244,5 г/кВт·ч.

Наибольшие значения индикаторного КПД отмечаются при работе дизеля на бионефтяной композиции, что можно объяснить меньшим удельным индикаторным расходом бионефтяной композиции (рисунок 6).



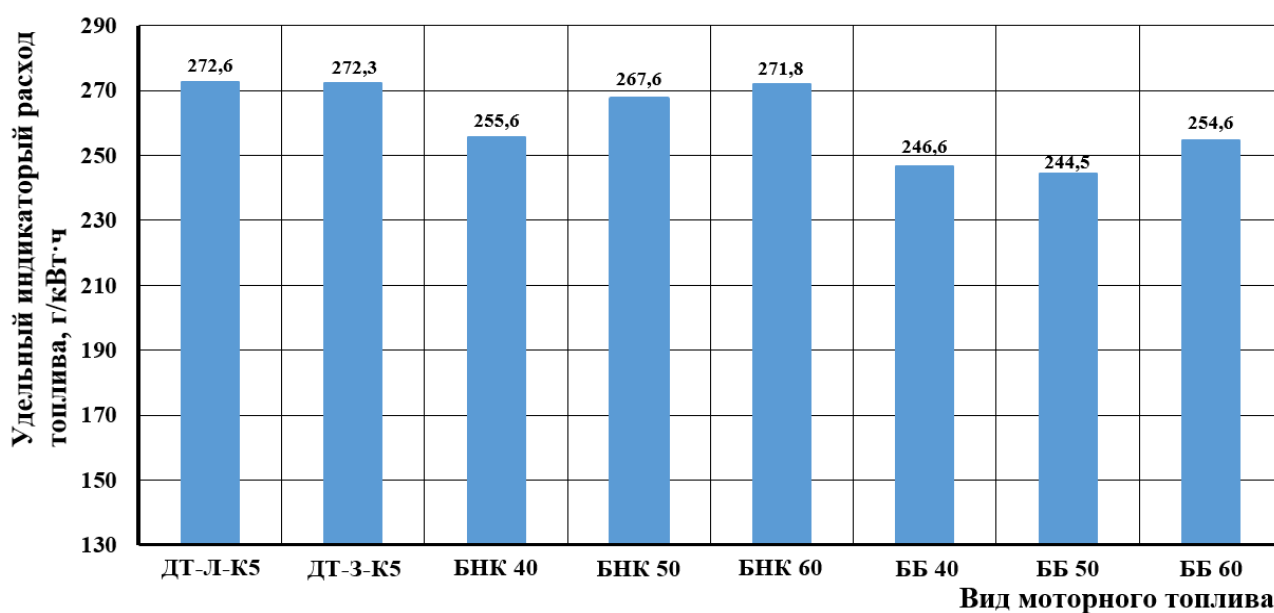
ДТ-Л-К5 – летнее ДТ; ДТ-З-К5 – зимнее ДТ; БНК 40, 50, 60 – процентное содержание рыжикового масла в автомобильном бензине; ББ 40, 50, 60 – процентное содержание рыжикового масла в авиационном бензине

Рисунок 3. Гистограмма коэффициента избытка воздуха



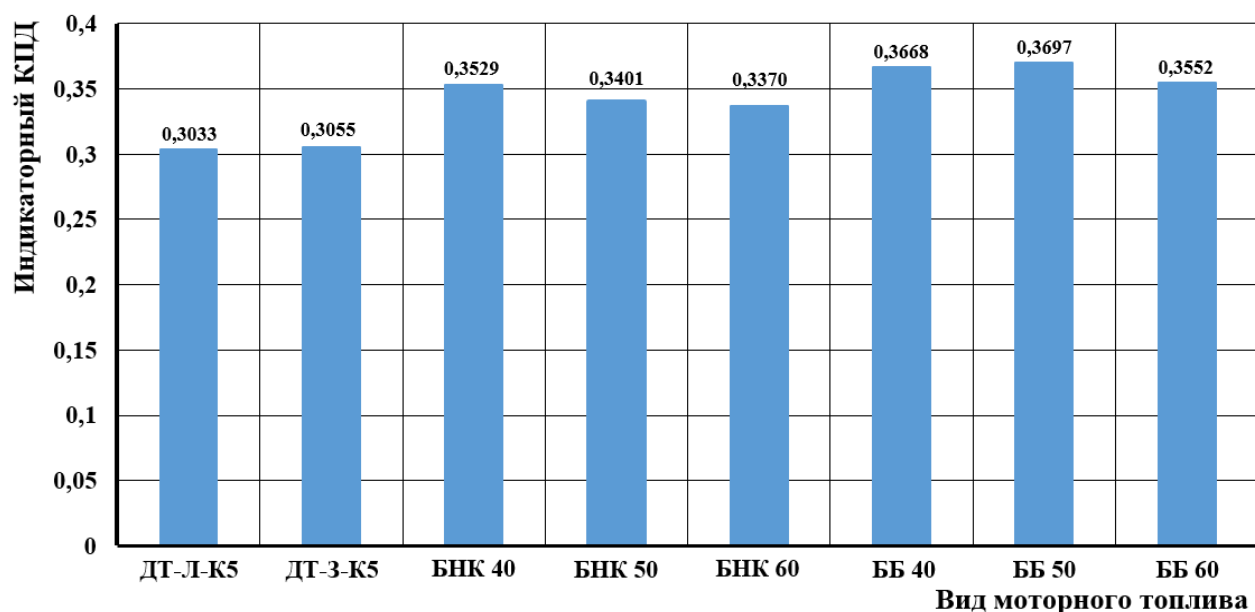
ДТ-Л-К5 – летнее ДТ; ДТ-З-К5 – зимнее ДТ; БНК 40, 50, 60 – процентное содержание рыжикового масла в автомобильном бензине; ББ 40, 50, 60 – процентное содержание рыжикового масла в авиационном бензине

Рисунок 4. Гистограмма индикаторной мощности дизеля



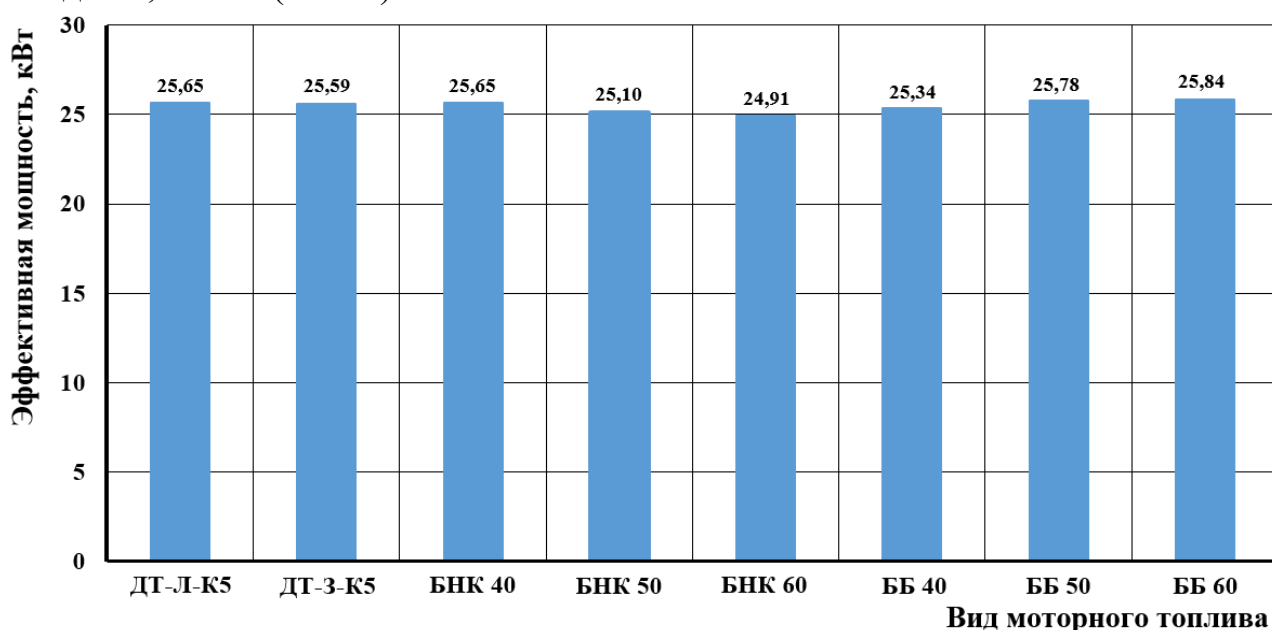
ДТ-Л-К5 – летнее ДТ; ДТ-З-К5 – зимнее ДТ; БНК 40, 50, 60 – процентное содержание рыжикового масла в автомобильном бензине; ББ 40, 50, 60 – процентное содержание рыжикового масла в авиационном бензине

Рисунок 5. Гистограмма удельного индикаторного расхода топлива



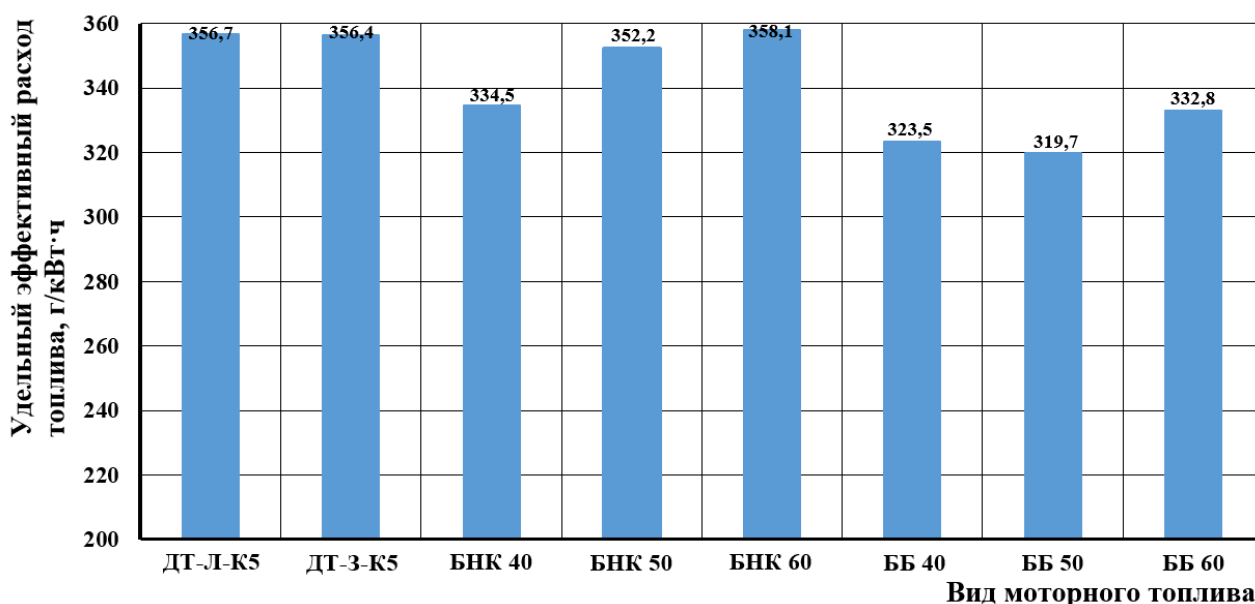
ДТ-Л-К5 – летнее ДТ; ДТ-З-К5 – зимнее ДТ; БНК 40, 50, 60 – процентное содержание рыжикового масла в автомобильном бензине; ББ 40, 50, 60 – процентное содержание рыжикового масла в авиационном бензине
Рисунок 6. Гистограмма индикаторного коэффициента полезного действия

По мере увеличения в автомобильном бензине рыжикового масла эффективная мощность дизеля снижается с 25,65 кВт до 24,91 кВт (на 3%) (рисунок 7). При смешивании авиационного бензина и рыжикового масла наблюдается противоположный эффект. По мере увеличения в авиационном бензине рыжикового масла эффективная мощность дизеля повышается с 25,34 кВт до 25,84 кВт (на 2%).



ДТ-Л-К5 – летнее ДТ; ДТ-З-К5 – зимнее ДТ; БНК 40, 50, 60 – процентное содержание рыжикового масла в автомобильном бензине; ББ 40, 50, 60 – процентное содержание рыжикового масла в авиационном бензине
Рисунок 7. Гистограмма эффективной мощности дизеля

Удельный эффективный расход топлива при работе дизеля на бионефтяных композициях, за исключением 40%АИ-92-К5 +60%РыжМ, меньше по сравнению с работой дизеля на НДТ (рисунок 8).

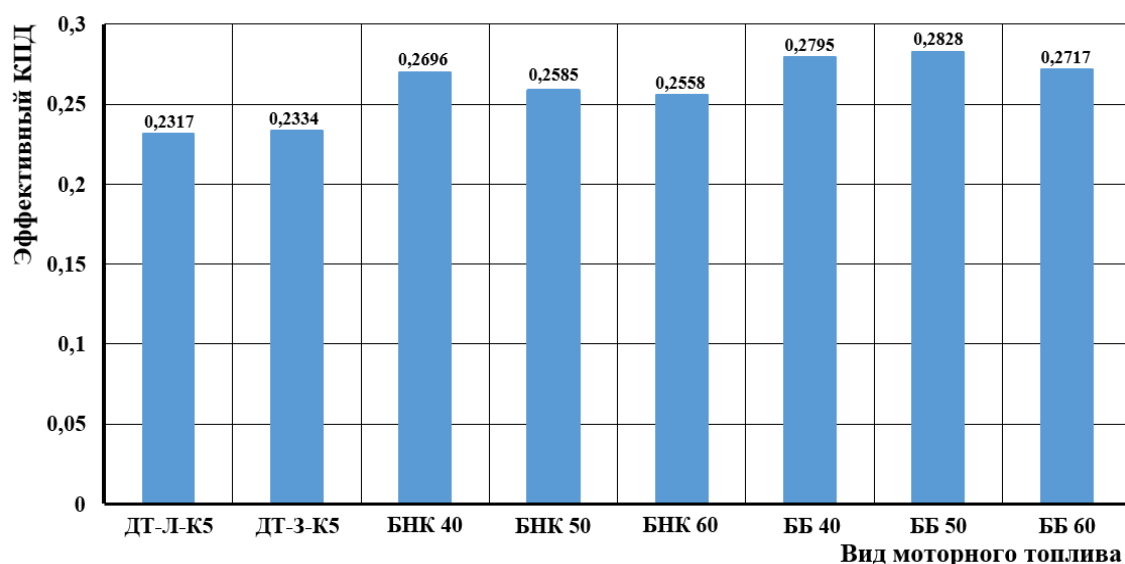


ДТ-Л-К5 – летнее ДТ; ДТ-З-К5 – зимнее ДТ; БНК 40, 50, 60 – процентное содержание рыжикового масла в автомобильном бензине; ББ 40, 50, 60 – процентное содержание рыжикового масла в авиационном бензине

Рисунок 8. Гистограмма удельного эффективного расхода топлива

Наибольшее снижение удельного расхода топлива зафиксировано при работе дизеля на бионефтяной композиции 50%Avgas100LL+50%РыжМ до 319,7 г/кВт·ч, т.е. на 10,4%. Разница в численных значениях удельного эффективного расхода топлива связана прежде всего с различием показателей физико-химических свойств (плотность, вязкость, низшая теплота сгорания и др.) исследуемых топлив.

При работе дизеля на бионефтяной композиции различного состава эффективный КПД выше по сравнению с НДТ (рисунок 9). На наибольшие значения эффективного КПД отмечаются при работе дизеля на бионефтяной композиции 50%Avgas100LL+50%РыжМ, что можно объяснить меньшим удельным эффективным расходом по сравнению с НДТ при незначительном отличии теплотворной способности этих топлив (низшая теплота сгорания бионефтяных композиций и НДТ составляет соответственно 39,30...40,92 МДж/кг и 43,28...43,55 МДж/кг).



ДТ-Л-К5 – летнее ДТ; ДТ-З-К5 – зимнее ДТ; БНК 40, 50, 60 – процентное содержание рыжикового масла в автомобильном бензине; ББ 40, 50, 60 – процентное содержание рыжикового масла в авиационном бензине
Рисунок 9. Гистограмма эффективного коэффициента полезного действия

Заключение. Приведена методика и расчет основных параметров топливоподачи, показателей рабочего процесса, индикаторных и эффективных показателей дизеля при его работе на бионефтяной композиции (автомобильном и авиационном биобензине) различного состава в сравнении с работой на товарном нефтяном дизельном топливе летних и зимних сортов, базирующиеся на экспериментальном определении действительного расхода воздуха, часового расхода топлива и низшей теплоты сгорания моторных топлив.

Эффективная мощность при работе дизеля на автомобильном биобензине изменяется в диапазоне 24,91-25,65 кВт, авиационном биобензине – 25,34-25,84 кВт, нефтяном летнем ДТ – 25,65 кВт, зимнем ДТ – 25,59 кВт (расхождение не превышает 1-3%). Удельный эффективный расход топлива у летнего ДТ равен 356,7 г/(кВт·ч), бионефтяных композиций 60%АИ-92-К5+40%РыжМ – 334,5 г/(кВт·ч) и 50%Avgas100LL+50%РыжМ – 319,7 г/(кВт·ч). Удельный эффективный расход топлива при работе на бионефтяных композициях по сравнению с НДТ меньше на 6,2-10,4%. Эффективный КПД при работе дизеля на бионефтяных композициях различного состава выше по сравнению с НДТ на 8,8-18,1%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новак, А.В. Декарбонизация отраслей ТЭК: решение климатических задач без ущерба для энергобезопасности / А.В. Новак // Энергетическая политика. – 2024. – №7 (198). – С. 8-13.
2. Dabi, M. Application potential of vegetable oils as alternative to diesel fuels in compression ignition engines / M. Dabi, U. K. Saha // A review. Journal of the Energy Institute 92(6). – 2019. – P.1710-1726.

3. Снижение износа плунжерных пар ТНВД применением смесового рапсово-минерального топлива: монография / Д.А. Уханов, А.П. Уханов, Е.Г. Ротанов, А.С. Аверьянов. – Пенза: РИО ПГАУ, 2017. – 212 с.
4. Уханов, А.П. Дизельное смесовое топливо: проблемы и инновационные разработки / А.П. Уханов, Д.А. Уханов, И.Ф. Адгамов // Известия Самарской ГСХА. – 2016. – Вып.2. – С. 46-50.
5. Уханов, Д.А. Применение бионефтяного топлива – переходное направление к достижению углеродной нейтральности / Д.А. Уханов, В.Ю. Быстров, Ю.А. Гольцев // Эксплуатация автотракторной и сельскохозяйственной техники: опыт, проблемы, инновации, перспективы: сборник статей VII Международной НПК. – Пенза: ПГАУ, 2025. – С. 151-155.
6. Патент 2854367 РФ, МПК C10L 1/08, C10L 1/188. Биотопливная композиция для транспортных дизелей / Д.А. Уханов, В.Ю. Быстров, Ю.А. Гольцев, В.А. Середа. – №2025117953; Заяв. 30.06.2025; Оpubл. 30.12.2025, Бюл. № 1.
7. Патент 2854377 РФ, МПК C10L 1/02, C10L 1/08. Биотопливная композиция для дизельных двигателей внутреннего сгорания / Д.А. Уханов, Ю.А. Гольцев, В.Ю. Быстров, В.А. Середа. – №2025118436; Заяв. 03.07.2025; Оpubл. 30.12.2025, Бюл. № 1.
8. Рыблов, М.В. Способ и средства улучшения эксплуатационных показателей тракторного дизеля / М.В. Рыблов, А.П. Уханов, Д.А. Уханов // Научное обозрение. – 2014. – № 3. – С. 42-49.

REFERENCES

1. Novak, A.V. Decarbonization of fuel and energy sectors: solving climate problems without compromising energy security / A.V. Novak // Energy policy. – 2024. – No. 7 (198). – P. 8-13
2. Dabi, M. Application potential of vegetable oils as alternative to diesel fuels in compression ignition engines / M. Dabi, U. K. Saha // A review. Journal of the Energy Institute 92(6). – 2019. – P.1710-1726.
3. Reducing wear of plunger pairs of fuel injection pumps by using mixed rapeseed-mineral fuel: monograph / D.A. Ukhanov, A.P. Ukhanov, E.G. Rotanov, A.S. Averyanov. – Penza: RIO PGAU, 2017. – 212 p.
4. Ukhanov, A.P. Diesel mixed fuel: problems and innovative developments / A.P. Ukhanov, D.A. Ukhanov, I.F. Adgamov // Bulletin of the Samara State Agricultural Academy. – 2016. – Issue 2. – P. 46-50.
5. Ukhanov, D.A. The use of bio-oil fuel – a transitional direction to achieving carbon neutrality / D.A. Ukhanov, V.Yu. Bystrov, Yu.A. Goltsev // Operation of automotive and agricultural machinery: experience, problems, innovations, prospects: a collection of articles from the VII International Scientific and Practical Conference. - Penza: PGAU, 2025. – P. 151-155.
6. Patent 2854367 RF, IPC C10L 1/08, C10L 1/188. Biofuel composition for transport diesel engines / D.A. Ukhanov, V.Yu. Bystrov, Yu.A. Goltsev, V.A. Sereda. – Application No. 2025117953; Dated 30/06/2025; Publ. 30/12/2025, Bulletin No. 1.

7. Patent 2854377 RF, IPC C10L 1/02, C10L 1/08. Biofuel composition for diesel internal combustion engines / D.A. Ukhanov, Yu.A. Goltsev, V.Yu. Bystrov, V.A. Sereda. – Application No. 2025118436; Dated 03.07.2025; Publ. 30/12/2025, Bulletin No. 1.
8. Ryblov, M.V. Method and means of improving the performance of a tractor diesel engine / M.V. Ryblov, A.P. Ukhanov, D.A. Ukhanov // Scientific Review. – 2014. – No. 3. – P. 42-49.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Научная статья
УДК 621.646.5

МИКРОМЕТРАЖНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЗАПОРНОГО ОРГАНА КЛИНОВЫХ ЗАДВИЖЕК СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ АПК

Д.В. Зайцев, С.А. Величко

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н. П. Огарёва, г. Саранск, Россия

Аннотация: исследование износов клиновых задвижек является важным аспектом профилактического обслуживания и управления состоянием трубопроводных систем. Контроль износов деталей клиновых задвижек позволит своевременно выявлять признаки скорого отказа, что существенно снижает риск утечек и аварийных ситуаций. Исследование включает статистическую оценку распределения износов на поверхностях запорного органа клиновых задвижек. Получены статистические данные значений износов деталей запорного органа клиновых задвижек, снятых с эксплуатации с систем водоснабжения предприятий агропромышленного комплекса.

Ключевые слова: Трубопроводная арматура, клиновая задвижка, техническое состояние, надежность, техническое состояние, износ.

Original article

MICROMETER STUDIES OF THE DETAILS OF THE LOCKING BODY OF WEDGE VALVES OF AGRICULTURAL WATER SUPPLY SYSTEMS

D.V. Zaitsev, S.A. Velichko

National Research Mordovia State University, Saransk, Russia

Abstract: the study of wear of wedge valves is an important aspect of preventive maintenance and condition management of pipeline systems. Monitoring the wear of wedge gate valve parts will allow timely detection of signs of imminent failure, which significantly reduces the risk of leaks and emergencies. The study includes a statistical assessment of the wear distribution on the surfaces of the locking body of wedge valves. Statistical data on the wear values of the shut-off valve parts of wedge valves decommissioned from water supply systems of agro-industrial enterprises have been obtained.

Keywords: Pipeline fittings, wedge gate valve, technical condition, reliability, technical condition, wear.

Введение. Трубопроводные системы играют важную роль в обеспечении населения, производственных предприятий и сельского хозяйства жизненно важными ресурсами, такими как питьевая и технологическая вода.

По официальным данным статистики, утечки и неучтенные расходы воды в системах водоснабжения составляют в среднем по стране около 15% от общего объема подаваемой на предприятиях агропромышленного комплекса воды, что эквивалентно примерно 3 миллиардам кубометров в год, а в некоторых городах потери могут достигать 50%. Это свидетельствует о том, что проблема утечек воды в системах водоснабжения предприятий агропромышленного комплекса является крайне серьезной. По оценкам специалистов, совокупный ущерб от этих утечек составляет около 5 миллиардов рублей в год [1-4]. Запорная арматура является одной из главных составляющих трубопроводных систем, она включает в себя задвижки, краны, клапаны и дисковые затворы. Наибольшее применение среди них получили клиновые задвижки, их доля от общего числа применяемой запорной арматуры составляет не менее 65%. По результатам сводных годовых отчетов крупных водоканальных компаний, ежегодно в Приволжском федеральном округе замене подлежат до 15000 клиновых задвижек [5-8]. Измерение износов на клиновых задвижках является важным аспектом профилактического обслуживания и управления состоянием трубопроводных систем. Регулярный мониторинг позволяет своевременно выявлять признаки износа и разрушения запорной арматуры, что существенно снижает риск аварийных ситуаций, утечек и полного отказа оборудования. Поэтому проводя анализ износов можно планировать техническое обслуживание, оптимизировать расходы и продлить срок службы клиновых задвижек.

Материалы и методы. Для определения величины износа на уплотнительных кольцах клиновых задвижек использовался профилограф-профиллометр фирмы Tailor Hobson Form Talysurf. В технологическое отверстие клина, которое проходит по внутреннему диаметру уплотнительного кольца, была установлена заглушка. После этого клин зажимался в трехкулачковый патрон под углом 10° и выравнивался относительно плоскости хода щупа (рисунок 1).

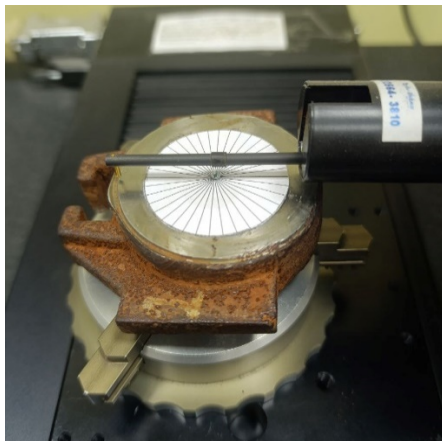


Рисунок 1. Клин, установленный на профилографе-профиллометре

После установки клина было получено 36 профилограмм поверхностей уплотнительных колец, сделанные через каждые 10° (рисунок 2).

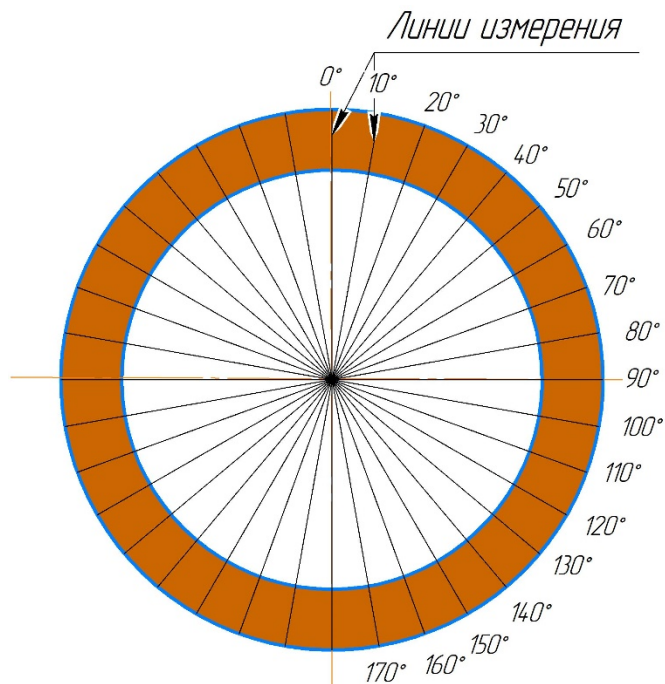


Рисунок 2. Участки снятия профилограмм уплотнительных колец клина

Износы определялись по наименее изношенным поверхностям. Для уплотнительных колец клина наименее изношенная поверхность указана на рисунке 3, она находится снаружи красной окружности. Указанная поверхность уплотнительного кольца клина не соприкасается с поверхностью уплотнительного кольца корпуса и напрямую не взаимодействует с потоком рабочей жидкости.

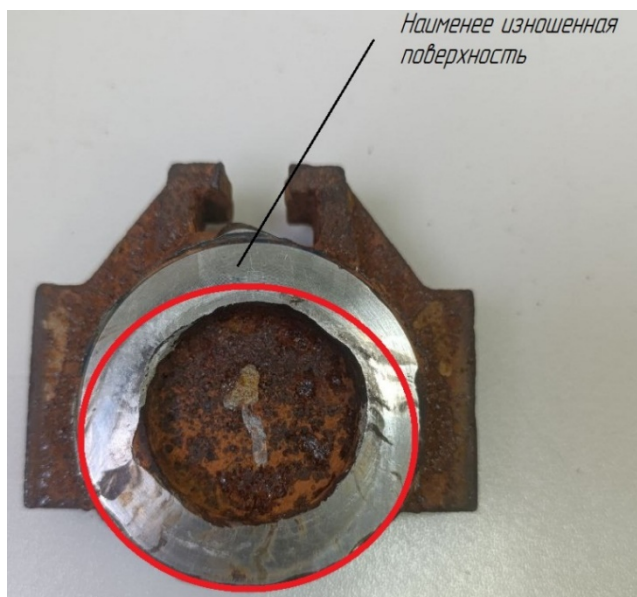


Рисунок 3. Клин с наименее изношенной рабочей поверхностью

После получения профилограмм их обрабатывали в программном обеспечении Tailymap Contour (рисунок 4).

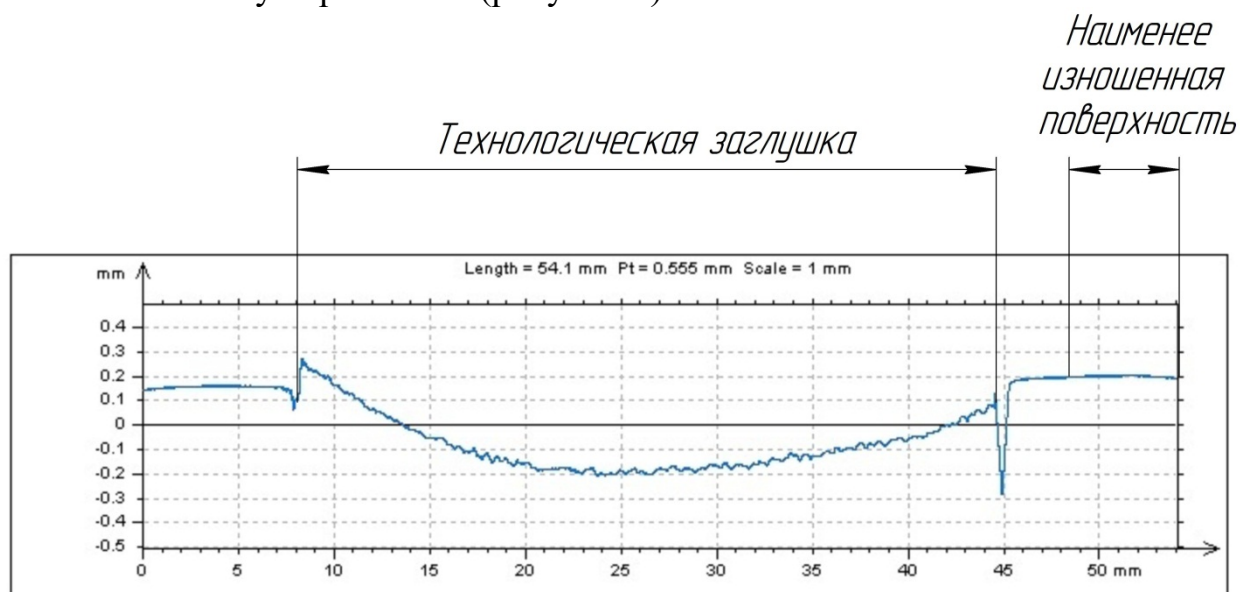


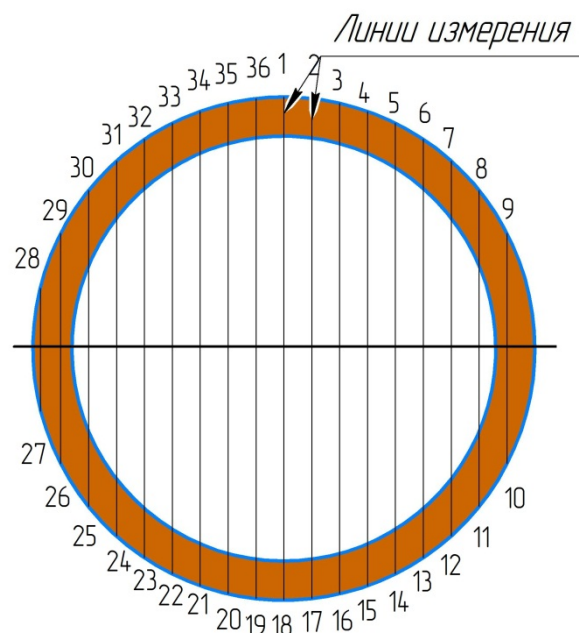
Рисунок 4. Профилограмма поверхности уплотнительного кольца

Для определения износов на уплотнительных кольцах корпуса, клиновая задвижка устанавливалась на рабочий стол профилографа-профилометра, в связи с ограниченностью хода щупа проходное сечение также закрывалось технологической заглушкой (рисунок 5).



Рисунок 5. Корпус клиновой задвижки, установленный на профилографе-профилометре

На уплотнительные кольца клина были сняты 36 профилограмм, сделанные на одинаковом расстоянии друг от друга (рисунок 6).



**Рисунок 6. Участки снятия профилограмм
уплотнительных колец корпуса**

Результаты исследований. Для каждой поверхности деталей составлена выборка из максимальных значений износов на всех участках измерения, параметры дескриптивной статистики и уровень значимости критерия Шапиро-Уилка, значения которых представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Параметры дескриптивной статистики и уровень
значимости критерия Шапиро-Уилка p_W для максимальных износов
рабочих поверхностей запорного органа**

Наименование поверхности	$\bar{X}$	X_{min}	X_{max}	σ	p_W
Первая сторона клина $U_{кл1}$, мкм	177	25	465	108	0,0005
Вторая сторона клина $U_{кл2}$, мкм	161	23	374	85	0,0007
Первая сторона корпуса $U_{корп1}$, мкм	98	12	191	37	0,0042
Вторая сторона корпуса $U_{корп2}$, мкм	127	9	214	43	0,0081

**Примечание: $\bar{X}$ – среднее значение износа, мкм; X_{max} – максимальное значение износа, мкм; X_{min} – минимальное значение износа, мкм; σ – стандартное отклонение износа, мкм.*

Из таблицы 1 видно, что для исследуемых максимальных значений износов рабочих поверхностей деталей запорного органа значение уровня значимости W -критерия меньше 0,05, значит закон распределения не соответствует нормальному.

Параметры законов распределения выборок максимальных износов деталей запорного органа определяли методом максимального правдоподобия с использованием программы «Statistica». Качество подгонки оценивали по критерию Холландера-Прохана (HP). В таблице 2 представлены

статистические характеристики выборок максимальных износов и их параметры законов распределения Вейбулла.

Таблица 2 – Параметры законов распределения Вейбулла и уровень значимости критерия Холландера-Прохана P_{HP} максимальных износов рабочих поверхностей запорного органа

Наименование поверхности	Параметры закона Вейбулла		$\bar{U}$	P_{HP}
	a	b		
Первая сторона клина $U_{кл1}$	218,52	2,95	196	0,7213
Вторая сторона клина $U_{кл2}$	178,8	2,73	162	0,8984
Первая сторона корпуса $U_{корп1}$	111,37	1,86	101	0,6531
Вторая сторона корпуса $U_{корп2}$	99,54	2,13	85	0,7229

**Примечание: $\bar{U}$ – среднее значение износа, мкм; a – параметр масштаба закона Вейбулла, мкм; b – параметр формы закона Вейбулла.*

Заключение. В результате проведенного исследования были получены статистические данные износов деталей запорного органа клиновых задвижек, а также определены параметры законов распределения с помощью методов максимального правдоподобия и критерия Холландера-Прохана. Данное исследование является важным этапом в разработке методов прогнозирования износа и повышения надежности запорных элементов трубопроводной арматуры, что способствует оптимизации технического обслуживания и снижению издержек на ремонт и замену деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пантелеев А.С., Шматин А.К. Современные тенденции и подходы к изготовлению трубопроводной арматуры // Фундаментальные основы механики. 2023. N11. С. 106-113. DOI: 10.26160/2542-0127-2023-11-106-113.
2. Дейнека И. Г., Бородина Е.В. Способы восстановления работоспособности деталей запорной арматуры // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. 2022. N 3(57). С. 28- 31. EDN MJGCWH.
3. Зайцев Д.В., Величко С.А., Давыдкин А.М. Эксплуатационная надежность клиновых задвижек в системах водоснабжения АПК // Технический сервис машин. 2024. Т. 62. N4. С. 7-14. DOI: 10.22314/2618-8287- 2024-62-4-7-14. EDN: JXDUJD.
4. Мяло О.В., Кудряшов А.Д., Демочко Я.О. и др. Сравнительный анализ автоматической запорной арматуры для дозирования средств защиты растений // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2025. N 1(57). С. 166-173. EDN KSPOQX.

5. Франтов А.А., Кизилев П.И. Оценка влияния конструкции проточных частей трубопроводной арматуры на шумность и виброактивность // Динамика и виброакустика. 2022. Т. 8. N3. С.12-19. DOI: 10.18287/2409-4579-2022-8-3-12-19.
6. Козлова С. С., Кормашова Е.Р. Обеспечение заданных характеристик надежности затворов запорной арматуры // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). 2022. N1. С. 187-188. EDN WOLJBB.
7. Соломашкин А.А. Новая методика определения допускаемых износов деталей, соединений, параметров состояния машин // Технический сервис машин. 2021. Т. 59. N4(145). С. 149-155. DOI: 10.22314/2618-82872021-59-4-149-155.
8. Абдалов Д. Г., Песин М.В. Современный метод повышения надежности запорной арматуры путем ионно-вакуумного азотирования изнашиваемых деталей // Химия. Экология. Урбанистика. 2022. Т. 1. С. 193-197. EDN YCFHXB.

REFERENCES

1. Panteleev A.S., Shmatin A.K. Modern trends and approaches to the manufacture of pipe fittings. Fundamental principles of mechanics. 2023. N11. 106-113 (In Russian). DOI: 10.26160/2542-0127-2023-11-106-113.
2. Deineka I. G., Borodina E.V. Methods of restoring the operability of shut-off valve parts. Bulletin of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. 2022. N 3(57).28-31 (In Russian). EDN MJGCWH.
3. Zaitsev D.V., Velichko S.A., Davydkin A.M. Operational reliability of wedge valves in agricultural water supply systems. Technical service of machines. 2024. Vol. 62. N4. 7-14 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2024-62-4-7-14. EDN: JXDUJD.
4. Myalo O.V., Kudryashov A.D., Demochko Ya.O. and others. Comparative analysis of automatic shut-off valves for dosing plant protection products. Bulletin of Omsk State Agrarian University. 2025. N 1(57). 166-173 (In Russian). EDN KSPOQX.
5. Frantov A.A., Kizilov P.I. Evaluation of the influence of the design of flow parts of pipeline fittings on noise and vibration activity. Dynamics and vibration acoustics. 2022. Vol. 8. N3. 12-19 (In Russian). DOI: 10.18287/2409-4579-2022-8-3-12-19.
6. Kozlova S. S., Kormashova E.R. Ensuring the specified reliability characteristics of shut-off valves. Young scientists for the development of the National Technological Initiative (POISK). 2022. N1. 187-188 (In Russian). EDN WOLJBB.
7. Solomashkin A.A. A new method for determining the permissible wear of parts, joints, and machine condition parameters. Technical service of machines. 2021. Vol. 59. N4(145). 149-155 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-82872021-59-4- 149-155.
8. Abdalov D. G., Pesin M.V. A modern method of increasing the reliability of shut-off valves by ion-vacuum nitriding of wear parts. Chemistry. Ecology. Urbanistics. 2022. Vol. 1. 193-197 (In Russian). EDN YCFHXB.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Б.А. Кенжегалиев, М.К. Уразгалиева

НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет
им. Жангир хана», г. Уральск, Республика Казахстан
Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет,
г. Уральск, Республика Казахстан

Аннотация: рассматривается системный подход к организации информационной поддержки процессов технического обслуживания (ТО) и ремонта грузового транспорта. Обосновывается необходимость создания единой информационной базы, сопровождающей автомобиль на всех этапах жизненного цикла. Описаны цели, принципы построения и концепция реализации информационной модели, обеспечивающей эффективное взаимодействие между эксплуатирующими и ремонтными организациями.

Ключевые слова: автомобиль, эксплуатация, информация, информационная модель, жизненный цикл, база данных.

Original article

INFORMATION SUPPORT FOR MAINTENANCE AND REPAIR OF HEAVY-DUTY VEHICLES

B.A. Kenzhegaliev, M.K. Urazgalieva

NJSC «West Kazakhstan Agrarian-Technical University named after Zhangir Khan»,
Uralsk, Republic of Kazakhstan
West Kazakhstan University of Innovation and Technology, Uralsk, Republic of
Kazakhstan

Abstract: examines a systems-based approach to organizing information support for maintenance (MRO) and repair processes of heavy-duty vehicles. The necessity of creating a unified information database that accompanies a vehicle throughout all stages of its life cycle is substantiated. The objectives, principles of design, and the concept of implementing an information model that ensures effective interaction between operating and maintenance organizations are described.

Keywords: vehicle, operation, information, information model, life cycle, database.

Введение. В процессе эксплуатации грузовых автомобилей неизбежен износ деталей и разрушение поверхностей сопряженных элементов в результате трения. Для обеспечения бесперебойной работы автотранспортных предприятий (АТП) необходимо своевременно выявлять неисправности и оперативно производить замену компонентов, что требует создания

специализированной информационной базы данных. Системный подход в данном контексте подразумевает учет специфики всех участников процесса: от заводов-изготовителей до ремонтных мастерских и организаций, снабжающих парк горюче-смазочными материалами [1].

С позиции эксплуатирующей организации наибольший интерес представляют ключевые элементы иерархии информационной системы, к которым относятся грузоподъемность, объём кузова, универсальность, надёжность, экономическая эффективность и другие эксплуатационные характеристики. При этом модель, ориентированная на эксплуатацию, должна включать релевантную информацию, формируемую на этапах проектирования и производства, необходимую для обеспечения эффективного использования техники. Существенным компонентом такой модели являются сведения, связанные с технической поддержкой грузового автомобиля в целом, а также его отдельных систем и оборудования. Данный информационный блок обеспечивает не только доступ к данным о требуемых ресурсах снабжения, но и позволяет осуществлять планирование их закупки с последующей реализацией заказов. [2].

Особенностью информационного потока в данном случае является то, что он формируется не только под воздействием материальных потоков, но и на основе данных о техническом состоянии и условиях эксплуатации конкретного транспортного средства. В связи с этим в качестве непосредственного функционального элемента информационной системы могут выступать автоматизированные рабочие места управленческого персонала, специализированные информационные подразделения системы управления организацией, а также отдельные группы специалистов, объединённые общностью выполняемых информационных функций, процедур и операций. [3].

Материалы и методы. Основной целью управления в рамках такой системы является эффективное использование технических и материальных ресурсов для повышения производительности списочного состава грузового транспорта.

Информационная поддержка призвана решить следующие задачи:

- обеспечение выживаемости и дееспособности пунктов ТО и ремонта в условиях рынка;
- предоставление персоналу точной и оперативной информации, исключающей несогласованность действий;
- планирование заказов необходимых элементов снабжения на основе данных о техническом состоянии конкретного автомобиля [4].

Для реализации системного подхода информационная модель должна базироваться на ряде принципов:

- Иерархичность и агрегированность: учет запросов различных уровней управления и подчиненность задач.

- Избыточность и адаптивность: система должна проектироваться с учетом не только текущих, но и перспективных задач, легко подстраиваясь под меняющиеся требования рынка.

- Единство и конфиденциальность: создание системы показателей, исключающей вывод противоречивой информации при соблюдении прав доступа.

- Открытость: возможность постоянного пополнения базы новыми данными по мере прохождения автомобилем этапов жизненного цикла.

Для предприятий технического обслуживания и ремонта приоритетным является иное иерархическое представление информационной системы, которое учитывает не только текущее техническое состояние эксплуатируемого транспортного средства, но и наличие совокупности данных, формируемых и интегрируемых в единую информационную модель на этапах приобретения, эксплуатации, обслуживания и ремонта каждого грузового автомобиля.

На стадии вывода грузовых автомобилей из эксплуатации иерархическая структура информационной системы может существенно отличаться от ранее рассмотренных вариантов и определяется, прежде всего, спецификой деятельности предприятия, осуществляющего списание, разборку на запасные части и утилизацию техники.

Вместе с тем для всех авторемонтных и транспортных организаций характерен ряд типовых иерархических объектов, включающих двигатель, коробку передач, кузов, кабину, системы и оборудование, при этом важным аспектом является оценка их пригодности для последующей эксплуатации. С учётом изложенного, иерархическую модель грузового автомобиля на всех этапах его жизненного цикла целесообразно представить в виде схемы, приведённой на рисунке 1.

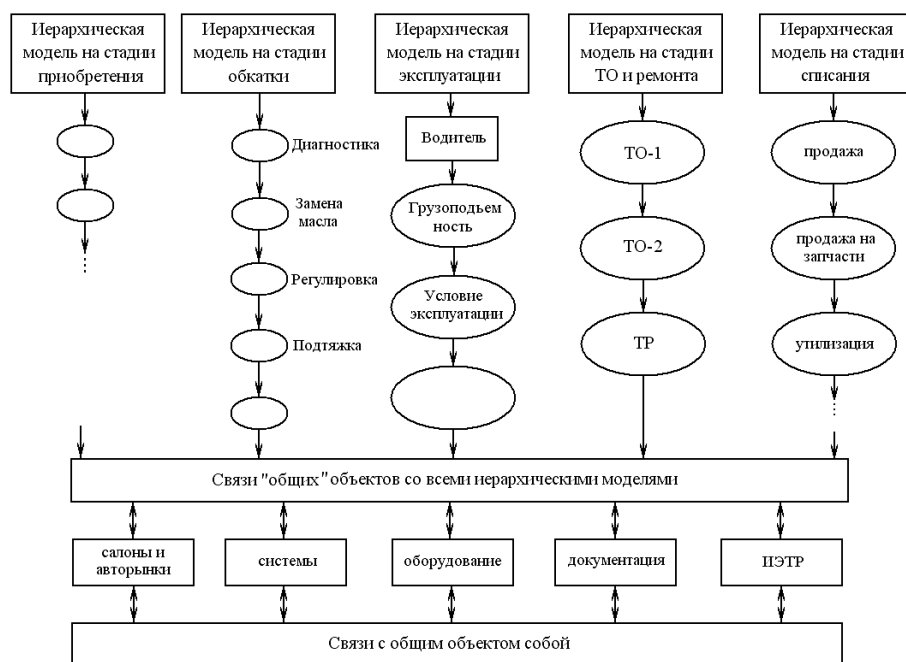


Рисунок 1 – Основные элементы иерархии информационной модели автомобиля на всех стадиях жизненного цикла

Следует отметить, что в рассматриваемом контексте речь идёт о формировании информационной модели грузового автомобиля, охватывающей все стадии его жизненного цикла и включающей данные, представляющие интерес как для предприятия-изготовителя, так и для организаций, осуществляющих эксплуатацию, техническое обслуживание, ремонт и утилизацию. При этом принципиально важным является разграничение информации в соответствии с конкретными этапами жизненного цикла [2].

Результаты исследований. В ходе разработки информационной модели грузового автомобиля, охватывающей все стадии его жизненного цикла, сформирована концепция, включающая следующие положения [2]. Информационная модель может быть представлена в виде различных иерархических структур, отражающих задачи отдельных этапов жизненного цикла, при этом она должна содержать полный объём данных об изделии и его элементах. Существенным требованием является возможность формирования информационных срезов, необходимых для предприятий на различных стадиях эксплуатации.

Формирование и использование данных осуществляется на основе единой базы с возможностью прямого доступа либо посредством экспорта и импорта с последующей синхронизацией, обеспечивающей актуальность информации [2]. Разработка модели начинается на этапе проектирования и последовательно расширяется на стадиях производства, эксплуатации, технического обслуживания и ремонта. При этом необходим субъект, ответственный за ведение, актуализацию и корректировку информационной модели.

В настоящее время выделяют два подхода к реализации электронно-информационной модели изделия (ЭИМИ) [5]: создание автономных моделей для отдельных стадий жизненного цикла и разработка единой интегрированной модели. Первый подход ориентирован на локальное применение данных в рамках конкретного этапа, тогда как второй соответствует современным требованиям интеграции и предполагает функционирование единой гетерогенной информационной среды с непрерывным накоплением и обновлением данных [5].

Интегрированный подход обеспечивает оперативное формирование и передачу информационных выборок заинтересованным субъектам путём извлечения данных из единой ЭИМИ либо предоставления удалённого доступа через сетевую инфраструктуру, включая работу в условиях ограниченной пропускной способности каналов связи (рисунок 2).

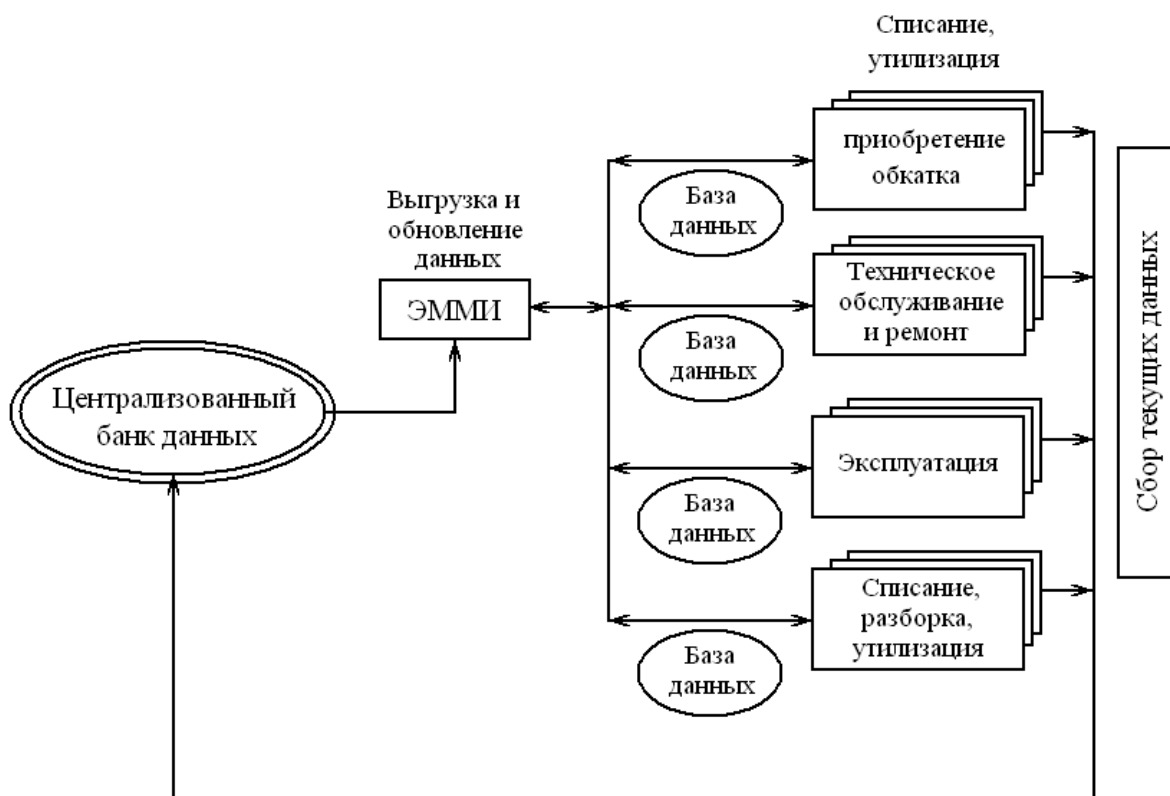


Рисунок 2. Схема реализации информационной модели эксплуатации грузовых автомобилей.

Заключение. В рамках изложенной концепции обосновывается необходимость наличия организации-оператора базы данных, ответственной за своевременное обновление и актуализацию информации электронной информационной модели (ЭИМ), а также за предоставление релевантных данных предприятиям, использующим данную модель [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Построение информационной модели эксплуатации грузовых автомобилей. Б.А. Кенжегалиев, М.К. Уразгалиева. Перспективные направления развития автотранспортного комплекса: Сборник статей XII Международной научно-практической конференции. Том 2 – С. 65-71. Пенза, 2018.
2. Рындин, А.А. Технологии обеспечения жизненного цикла изделий / А.А. Рындин [и др.]; под ред. Л.М. Рябенский // Компьютер-Информ [Электронный ресурс] / – М., 2009. – Режим доступа: http://www.ci.ru/inform11_05/p_10.htm.
3. Информационная поддержка жизненного цикла изделий машиностроения: принципы, системы и технологии CALS/ИПИ: учеб, пособие для студ. высш. учеб, заведений / [А. Н. Ковшов, Ю. Ф. Назаров, И. М. Ибрагимов, А.Д. Никифоров]. — М.: Издательский центр «Академия», 2007. — 304 с.
4. Экономика автомобильного транспорта: учеб. пособие для Э40 студ. высш. учеб. заведений / [А.Г. Будрин, Е.В. Будрина, М.Г. Григорян и др.]; под ред. Г.А. Кононовой. — 4-е изд., стер. — М.: Издательский центр «Академия», 2009. — 320 с.

5. Жанбирова Ж.Г., Тусупов Д.М., Камбарова А.А., Тусупова А.Е. Особенности построения информационной модели эксплуатации автомобилей. Вестник МАДИ. – 2013. – № 2(33). – С. 7-10.

REFERENCES

1. Development of an Information Model for the Operation of Freight Vehicles. B.A. Kenzhegaliev, M.K. Urazgalieva. Promising Directions for the Development of the Motor Transport Complex: Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference. Volume 2 – pp. 65–71. Penza, 2018.
2. Ryndin, A.A. Technologies for Ensuring the Product Life Cycle / A.A. Ryndin et al.; edited by L.M. Ryabenkiy // Computer-Inform [Electronic resource]. – Moscow, 2009. – Available at: http://www.ci.ru/inform11_05/p_10.htm.
3. Information Support of the Life Cycle of Mechanical Engineering Products: Principles, Systems and CALS/IPS Technologies: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / A.N. Kovshov, Yu.F. Nazarov, I.M. Ibragimov, A.D. Nikiforov. – Moscow: Publishing Center “Academy”, 2007. – 304 p.
4. Economics of Motor Transport: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / A.G. Budrin, E.V. Budrina, M.G. Grigoryan et al.; edited by G.A. Kononova. – 4th ed., stereotyped. – Moscow: Publishing Center “Academy”, 2009. – 320 p.
5. Zhanbirov, Zh.G., Tusupov, D.M., Kambarova, A.A., Tusupova, A.E. Features of Building an Information Model for Vehicle Operation. Bulletin of MADI. – 2013. – No. 2(33). – pp. 7–10.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЛОГИСТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ИЗНОШЕННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН

И. Н. Кравченко¹, А. Ю. Башко¹, Ю. А. Кузнецов², С. А. Феськов³

¹Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

²Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, г. Орел, Россия

³Брянский государственный аграрный университет, г. Брянск, Россия

Аннотация: Представлен анализ мобильного комплекса по переработке изношенных автомобильных шин, адаптированного для использования в сельскохозяйственных регионах с ограниченной инфраструктурой. Предложена усовершенствованная конструкция, включающая генератор азота модульного типа и холодильную установку с морозильной камерой, что позволяет снизить энергозатраты на 30–40% и ускорить процесс переработки. Приведены результаты сравнительного анализа с традиционными методами.

Ключевые слова: утилизация шин, мобильный комплекс, автотракторная техника, энергоэффективность.

Original article

TECHNOLOGICAL AND LOGISTIC ASPECTS OF PRIMARY RECYCLING OF WORN CAR TIRES

I. N. Kravchenko¹, A. Yu. Bashko¹, Yu. A. Kuznetsov², S. A. Feskov³

¹Russian State Agrarian University-Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

²Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, Orel, Russia

³Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russia

Abstract: An analysis of a mobile complex for recycling used automobile tires, adapted for use in agricultural regions with limited infrastructure, is presented. An improved design has been proposed, including a modular nitrogen generator and a refrigeration unit with a freezer, which reduces energy costs by 30–40% and speeds up the processing process. The results of a comparative analysis with traditional methods are presented.

Keywords: recycling of tires, mobile complex, automotive and tractor equipment, energy efficiency.

Введение. Проблема утилизации изношенных автомобильных шин особенно актуальна для сельскохозяйственных регионов, где отсутствуют стационарные перерабатывающие предприятия [1, 2]. Традиционные методы

(сжигание, захоронение) приводят к загрязнению окружающей среды, а существующие мобильные комплексы обладают такими недостатками, как высокое энергопотребление и низкая производительность [3, 4]. При сжигании шин в атмосферу попадают токсичные газы и твердые частицы, включая диоксины и полициклические ароматические углеводороды, что создает серьезную угрозу для экосистем и здоровья человека [5, 6]. В то же время низкая производительность мобильных комплексов не позволяет оперативно перерабатывать накапливающиеся объемы изношенных покрышек, а высокие энергозатраты делают их использование экономически нецелесообразным в масштабах, необходимых для решения проблемы утилизации шин [7].

Согласно отчету Минприроды РФ, ежегодный объем образования изношенных шин в России превышает 1,5 млн. т, при этом только 15–20% утилизируется промышленными способами. Ситуация в сельскохозяйственных регионах характеризуется острой проблемой накопления изношенных шин и дефицитом перерабатывающих мощностей [8]. Так, по данным Росстата на полигонах Краснодарского края, Ростовской области и Ставропольского края накоплено свыше 250 тыс. т шин. Согласно Агропромышленному вестнику (2023 г.), 85% сельских предприятий не имеют доступа к стационарным перерабатывающим мощностям [9], что значительно осложняет утилизацию отходов и повышает экологическую нагрузку на регионы. Анализ представленных данных подтверждает необходимость внедрения мобильных решений, аналогичных предлагаемому комплексу.

Целью работы является анализ усовершенствованного мобильного комплекса, предназначенного для первичной переработки шин в удаленных районах. Для достижения поставленной цели исследования необходимо оценить энергоэффективность предложенной конструкции и определить перспективы внедрения в агропромышленном секторе.

Материалы и методика исследования. Объектом исследования выступал мобильный комплекс, предназначенный для переработки изношенных автомобильных шин и адаптированный к условиям эксплуатации в сельскохозяйственных регионах, характеризующихся ограниченной транспортной и коммунальной инфраструктурой. Методика исследования предусматривала комплексный анализ процессов накопления, сбора и переработки изношенных шин в сельских территориях с учетом особенностей их пространственного распределения, плотности образования отходов и доступности инфраструктуры обращения с ними. Отдельное внимание уделено сравнительной оценке энергопотребления перерабатывающего комплекса при двух технологических режимах: с использованием криогенной морозильной камеры и без ее применения. Для определения параметров криогенной обработки проводился хронометраж процесса охлаждения резины до температуры хрупкости, составляющей -80°C . Эффективность отделения металлического и текстильного корда оценивалась по содержанию примесей в полученной резиновой крошке с последующим сопоставлением полученных данных с показателями, характерными для традиционного механического измельчения шин. В ходе исследования выполнено экспериментальное

тестирование комплекса на полигонах, различающихся плотностью размещения изношенных шин. Это позволило оценить влияние пространственных факторов на производительность оборудования и устойчивость технологического процесса. Кроме того, дополнительно анализировалась автономность работы комплекса при энергоснабжении от дизель-генератора, включая измерение расхода топлива, продолжительности непрерывной эксплуатации и стабильности основных технологических параметров.

Результаты исследований. В результате проведенных исследований предложен мобильный комплекс первичной переработки изношенных автомобильных шин, который состоит из устройства 1 предварительного разрезания изношенных автомобильных шин, транспортирующие устройства 2, 7, 8, 12, 13, холодильной установки 3 с тремя изолированными секциями, секцией 4 приема предварительно разрезанных шин, морозильной секцией 5 и секцией 6 приема охлажденных (замороженных) предварительно разрезанных шин, генератор азота модульного типа 9, устройство 10 измельчения материалов, устройство 11 очистки сырья, пневмофасовщика 14 и источника электропитания – дизель-генератора 15, смонтированных на платформе грузового автомобиля 17 с краном манипулятором 16 (рисунок 1).

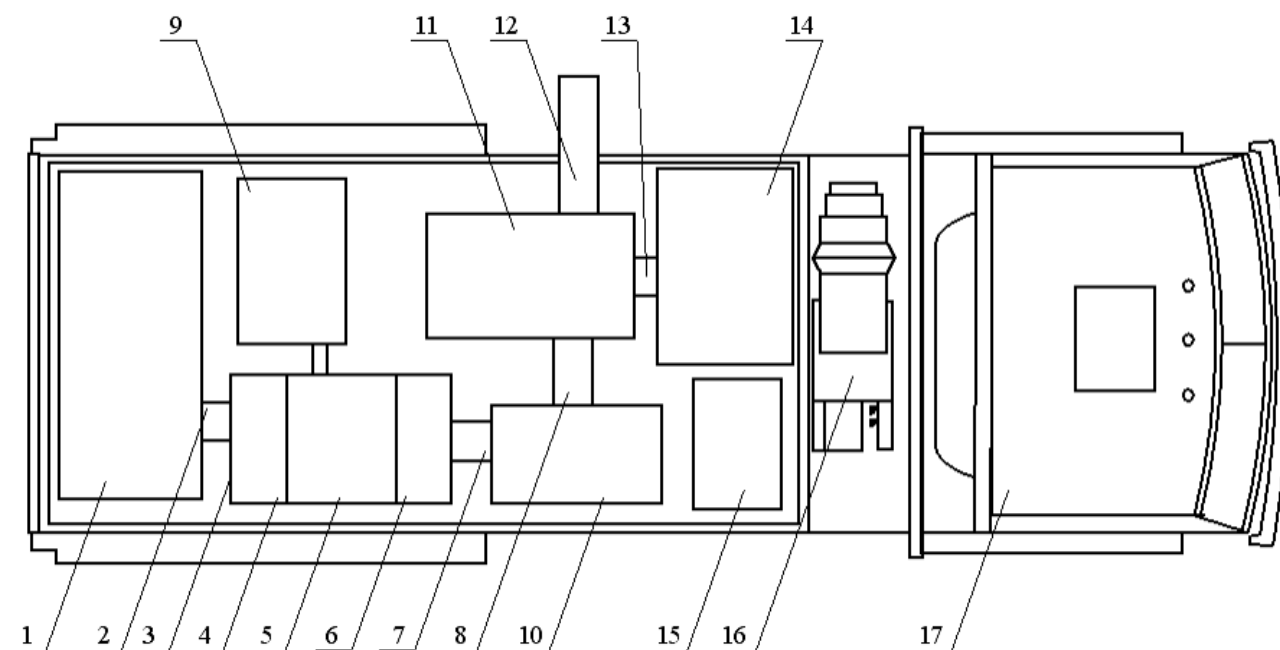


Рисунок 1. Мобильный комплекс первичной переработки изношенных шин

Функционирование мобильного комплекса начинается с его разворачивания на рабочей площадке. После прибытия к месту эксплуатации борта автомобиля переводятся в рабочее положение, а технологическое оборудование подключается к источнику электроснабжения. В качестве такого источника может использоваться дизель-генератор 15, установленный на автомобиле, либо внешняя электрическая сеть при наличии технической возможности подключения. Подача изношенных автомобильных шин на

технологическую линию осуществляется с помощью манипулятора 16. На первом этапе шины направляются в устройство 1 предварительного разрезания, где производится их первичная подготовка к последующей переработке. После разрезания материал посредством транспортирующего устройства 2 перемещается в холодильную установку 3. Данная установка выполнена в виде изолированного блока, включающего три последовательно взаимодействующие секции: приемную секцию 4 для предварительно разрезанных шин, морозильную секцию 5 и секцию 6, предназначенную для приема, охлажденного или замороженного материала после криогенной обработки.

Перемещение материала внутри холодильной установки осуществляется поэтапно с соблюдением герметичности между отдельными зонами. После поступления разрезанных шин в приемную секцию 4 закрывается приемное окно со стороны транспортирующего устройства 2, а затем открывается технологическое окно, расположенное в общей стенке между секциями 4 и 5. Через него подготовленный материал поступает в морозильную секцию 5, после чего окно закрывается, и начинается процесс криогенного охлаждения. Замораживание разрезанных шин осуществляется путем воздействия жидкого азота, подаваемого от модульного генератора азота 9. После завершения охлаждения материал переводится из морозильной секции 5 в секцию приема замороженных шин 6 через технологическое окно, размещенное в общей перегородке между указанными секциями. После перемещения материала окно закрывается, что обеспечивает изоляцию морозильной зоны и сохранение заданного температурного режима. Далее открывается выходное окно секции 6, связанное с транспортирующим устройством 7, по которому охлажденные фрагменты шин направляются в устройство измельчения 10. В устройстве измельчения 10 замороженный материал подвергается механическому разрушению. Далее измельченное сырье транспортирующим устройством 8 подается в устройство очистки 11, где осуществляется отделение примесей и кордовых включений. После очистки полученный материал может направляться по транспортирующему устройству 13 в пневмофасовщик 14 либо по транспортирующему устройству 12 непосредственно в транспортное средство, предназначенное для перевозки готового продукта.

Модульный генератор азота 9 функционирует независимо от остальных узлов комплекса и включается по мере необходимости, обеспечивая подачу жидкого азота в холодильную установку 3. Такая организация работы позволяет поддерживать требуемый температурный режим в морозильной секции и рационально использовать криогенный агент.

Предварительное охлаждение разрезанных шин жидким азотом существенно изменяет физико-механические свойства резины. После замораживания материал утрачивает эластичность и приобретает хрупкость, благодаря чему его последующее измельчение в устройстве 10 осуществляется с меньшими энергетическими затратами. В результате снижается нагрузка на измельчающее оборудование и повышается эффективность переработки по сравнению с обработкой резины в обычном упругом состоянии.

Сокращение продолжительность охлаждения изношенных автомобильных шин в технологии первичной переработки на предлагаемом комплексе достигается внедрением криогенной морозильной камеры, функционирующей на основе воздействия жидкого азота. Данная камера состоит из трех термоизолированных секций с возможностью отдельного последовательного сообщения, что обеспечивает непрерывность технологического потока и минимизирует теплопритоки. Приемная секция принимает предварительно разрезанные шины и сопряжена с устройством их предварительного разрезания; изоляция секции снижает теплопередачу от окружающей среды, предотвращая преждевременное повышение температуры материала. Морозильная секция реализует криогенное охлаждение до температуры хрупкости резины за счет прямого контакта с жидким азотом, что снижает работу разрушения материала при последующем измельчении в 2–2,5 раза. Секция приема охлажденных шин сопряжена с устройством измельчения; поддержание низкой температуры на этапе передачи минимизирует риск пластической деформации резины и сохраняет ее хрупкое состояние. Секции комплекса объединены в единую технологическую линию с помощью транспортирующих устройств, обеспечивающих герметичное перемещение перерабатываемого материала между функциональными зонами, различающимися температурными режимами.

Авторами выполнен анализ объемов накопления и переработки изношенных автомобильных шин в южных регионах страны. В качестве информационной базы использовались официальные статистические материалы и действующие нормативно-правовые документы [10]. Обобщенные результаты анализа приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика объемов переработки изношенных автомобильных шин в сельских районах за 2023 г.

Регион	Накоплено шин, тыс. т	Переработано, %
Краснодарский край	78	12
Ростовская область	64	8
Ставропольский край	53	10

Использование усовершенствованной технологической схемы позволило снизить удельное энергопотребление комплекса с 25 до 16 кВт·ч на тонну перерабатываемого сырья, а также сократить продолжительность охлаждения резины с 2 ч до 40 мин. По результатам испытаний установлено, что степень очистки резиновой крошки от кордовых включений достигает 92%, что на 17% превышает показатель, характерный для традиционных механических аналогов, составляющий 75%. Производительность комплекса составляет 500 кг/ч, что соответствует эксплуатационным требованиям малых и средних полигонов, специализирующихся на переработке изношенных автомобильных шин.

Экспериментальные данные подтвердили возможность работы комплекса от автономных источников энергоснабжения. Внедрение рассматриваемого

мобильного комплекса в сельских регионах может способствовать увеличению доли переработки изношенных шин до 30–35%, что позволит снизить экологическую нагрузку и повысить эффективность обращения с отходами в условиях ограниченной инфраструктуры.

Заключение. Усовершенствованный мобильный комплекс для переработки изношенных автомобильных шин демонстрирует существенные преимущества по сравнению с традиционными технологическими решениями за счет снижения удельных энергозатрат и повышения скорости переработки сырья.

1. Применение генератора азота и оптимизированной системы замораживания шин обеспечивает более эффективное отделение кордовых включений от резиновой фракции, что положительно влияет на качество конечного продукта. Предлагаемая технология особенно актуальна для удаленных сельскохозяйственных территорий, где отсутствует централизованная система сбора и утилизации шинных отходов.

2. Дальнейшие исследования целесообразно направить на адаптацию конструкции комплекса к условиям крупных полигонов, а также на оценку возможности его энергоснабжения за счет возобновляемых источников энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дуганов В. Я., Дуюн Т. А., Чуев К. В., Архипова Н. А. и др. Проблемы утилизации крупногабаритных автомобильных шин // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2023. Т. 8. № 11. С. 103–112. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-11-103-112
2. Бурылова Ю. В., Армишева Г. Т. Обзор методов утилизации автомобильных шин // Химия. Экология. Урбанистика. 2021. Т. 1. С. 187–191.
3. Сиваков В. В., Буглаев А. М., Грядунов С. С., Деревягин Р. Ю. Утилизация автомобильных шин: проблемы и возможные решения // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2022. № 2. С. 36–43.
4. Гарайшина Э. Г., Ганиева И. И., Шайхутдинова А. И. Утилизация шин // *Cognitio Rerum*. 2021. № 11. С. 59–61.
5. Тюрин А. П., Верзакова Д. Д. Решение задачи утилизации изношенных шин с учетом безопасности труда на малом автотранспортном предприятии // Безопасность техногенных и природных систем. 2019. № 4. С. 24–31.
6. Манякин А. М., Лоренц А. С. Основные способы утилизации шин и резинотехнических изделий // Инновационное развитие. 2019. № 1 (28). С. 17–19.
7. Лапушкин М. Ю. Ресурсоэффективность технологий утилизации отходов шин, камер и покрышек автомобильных // Экологические системы и приборы. 2020. № 10. С. 45–51.
8. Романова Т. Ф., Куликова Е. Ю. Формирование системы сбора и переработки изношенных шин в России: проблемы и перспективы // Твердые бытовые отходы. 2020. № 5. С. 36–41.

9. Шувалова Ю. А., Петров К. В. Оценка потенциала мобильных установок для переработки изношенных шин в сельскохозяйственных регионах Юга России // Экология и промышленность России. 2023. Т. 27, № 11. С. 58–63.
10. Яцун А. В. Современные технологии переработки изношенных автомобильных шин // Отходы и ресурсы. 2025. Т. 12, № 4. <https://doi.org/10.15862/17EEOR425>

REFERENCES

1. Duganov V. Ya., Duyun T. A., Chuev K. V., Arkhipova N. A., et al. Problems of recycling large-sized automobile tires // Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2023. Vol. 8. No. 11. pp. 103–112.
2. Burylova Yu. V., Armisheva G. T. Review of methods for recycling car tires // Chemistry. Ecology. Urban studies. 2021. Vol. 1. pp. 187–191.
3. Garayshina E. G., Ganieva I. I., Shaikhutdinova A. I. Tire recycling // Cognitio Rerum. 2021. No. 11. pp. 59–61.
4. Sivakov V. V., Buglaev A. M., Gryadunov S. S., Derevyagin R. Yu. Recycling of car tires: problems and possible solutions // Transport. Transport structures. Ecology. 2022. No. 2. pp. 36–43.
5. Tyurin A. P., Verzakova D. D. Solution of the problem of recycling of worn tires taking into account labor safety at a small motor transport enterprise // Safety of technogenic and natural systems. 2019. No. 4. pp. 24–31.
6. Manyakin A. M., Lorenz A. S. Main methods of recycling tires and rubber products // Innovative development. 2019. No. 1 (28). pp. 17–19.
7. Lapushkin M. Yu. Resource efficiency of technologies for recycling waste tires, tubes and car tires // Ecological systems and devices. 2020. No. 10. pp. 45–51.
8. Romanova T. F., Kulikova E. Yu. Formation of a system for collecting and recycling used tires in Russia: problems and prospects // Solid household waste. 2020. No. 5. pp. 36–41.
9. Shuvalova Yu. A., Petrov K. V. Assessment of the potential of mobile installations for recycling worn tires in agricultural regions of the South of Russia // Ecology and Industry of Russia. 2023. Vol. 27. No. 11. P. 58–63.
10. Yatsun A. V. Modern technologies for recycling worn-out car tires // Waste and resources. 2025. Vol. 12. No. 4. <https://doi.org/10.15862/17EEOR425>

Научная статья

УДК 631.3:004

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОТРАКТОРНОГО ПАРКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А.Е. Беккалиев

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет
имени Жангир хана

Аннотация: в статье рассматривается цифровизация процессов технического обслуживания автотракторного парка сельскохозяйственных предприятий. Обоснована актуальность внедрения цифровых технологий в условиях высокого износа техники в Казахстане. Описаны основные направления цифровизации, включая использование датчиков, GPS и телеметрии для мониторинга состояния техники. Рассмотрены возможности применения прогнозного обслуживания (predictive maintenance) для предупреждения отказов. Показаны преимущества цифровых решений, такие как снижение затрат, уменьшение простоев и повышение эффективности эксплуатации. Сделан вывод о необходимости дальнейшего развития цифровых технологий в аграрном секторе.

Ключевые слова: цифровизация, техническое обслуживание, автотракторный парк, сельскохозяйственная техника, телеметрия, GPS-мониторинг, predictive maintenance (прогнозное обслуживание), датчики, автоматизация, аграрный сектор

Original article

DIGITALIZATION OF MAINTENANCE PROCESSES FOR THE AGRICULTURAL MACHINERY FLEET OF AGRICULTURAL ENTERPRISES

A. Ye. Bekkaliyev

Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian-Technical University

Abstract: This article examines the digitalization of maintenance processes for the automotive and tractor fleets of agricultural enterprises. It substantiates the importance of implementing digital technologies given the high level of machinery wear and tear in Kazakhstan. Key areas of digitalization are described, including the use of sensors, GPS, and telemetry to monitor equipment condition. The potential for applying predictive maintenance to prevent equipment failures is discussed. The benefits of digital solutions—such as cost reduction, minimized downtime, and

increased operational efficiency—are highlighted. The article concludes by emphasizing the need for the continued development of digital technologies in the agricultural sector.

Keywords: digitalization, maintenance, fleet of vehicles and tractors, agricultural machinery, telemetry, GPS monitoring, predictive maintenance, sensors, automation, agricultural sector

Отрасль сельского хозяйства является важной ветвью экономики страны. В Казахстане широко используется сельскохозяйственная техника – тракторы, комбайны и др. Однако их системы обслуживания часто не полностью охватываются традиционными ручными информационными системами.

На сегодняшний день цифровизация, внедрение “умных” систем делают возможным повышение эффективности использования сельскохозяйственной техники, экономию ресурсов, снижение затрат на техническое обслуживание, а также увеличение сроков обслуживания и снижение рисков внезапных простоев.

В данной статье рассматриваются сущность, преимущества, Основные технологии, этапы внедрения и возможности цифровизации процессов технического обслуживания автотракторного парка сельхозпредприятий в условиях Казахстана.

Цифровизация – это управление, контроль, автоматизация производственных процессов, технического обслуживания с помощью информационно-коммуникационных технологий. Техническое обслуживание (то) сельскохозяйственной техники - важная система, обеспечивающая ее надежность и работоспособность.

Например, подход Predictive (predictive), на котором основано обслуживание, – это прогнозирование времени обслуживания и неисправностей путем отслеживания фактического состояния оборудования.

Цифровизация сельскохозяйственной техники будет осуществляться в следующих направлениях:

- установка датчиков, GPS, телеметрии на оборудовании;
- сбор, обработка эксплуатационных данных техники (время в пути, расход горюче-смазочных материалов, нагрузка, история срочного ремонта);
- управление работой, автоматизация графиков технического обслуживания;
- аналитические системы для прогнозирования сроков и дефектов обслуживания;
- интеграция технического обслуживания и основных производственных процессов.

Парк сельскохозяйственной техники в Казахстане устарел, имеет высокий уровень износа. Например: средний износ централизованного технико-машинного парка является высоким.

Основные проблемы:

- длительность износа и срока эксплуатации техники;

- ведение графиков технического обслуживания вручную и в виде журнала, систематизация данных;
- отсутствие четкого контроля за расходами горюче-смазочных и смазочных материалов;
- нецивилизованные простои из-за внезапного отказа техники, течение времени в сборе продукции;
- необходимость снижения затрат на техническое обслуживание и эксплуатационных расходов.

В таких условиях автоматизация процессов управления автопарком и то в цифровом виде может привести к технико-экономической эффективности.

Основными датчиками, устанавливаемыми на автотракторную технику, являются: датчики расхода горюче-смазочных материалов, GPS-трекеры, рабочая температура двигателя, уровень вибрации, давление гидравлики, вязкость и т.д. Например, с помощью датчиков могут собираться точные данные, и операторы могут отслеживать состояние техники.

Например, с помощью датчиков расхода топлива и GPS-трекеров в технике можно оптимизировать маршруты, снизить затраты.

Собранные данные передаются в центральную систему, где работают автоматизированные алгоритмы: анализируется режим работы техники, выявляются отклонения, прогнозируется потребность в обслуживании. Это входит в концепцию предварительного обслуживания (predictive maintenance).

Например, когда определенная вибрация двигателя находится на высоком уровне в течение длительного времени, система отправляет предупреждающее сообщение на техническое обслуживание.

Система автоматически создает график обслуживания на основе моделей техники, режимов применения и данных о прошедшем обслуживании. Это позволяет специалистам более эффективно планировать работу и использовать ресурсы.

Система позволяет пользователю (фермер, подразделение технического обслуживания) в онлайн-режиме показать точное состояние техники. Маршруты, время работы техники, потребность в сервисе контролируются одной панелью.

В Казахстане сельскохозяйственная техника используется в больших объемах, поэтому важно оцифровать процессы технического обслуживания автопарка. Согласно последним данным, внедрение цифровых систем в сфере сельского хозяйства идет полным ходом.

Преимущества:

- Снижение непредвиденных отказов техники, сокращение времени простоя;
- Снижение расхода горюче-смазочных и смазочных материалов;
- Эффективная организация планов обслуживания, сокращение времени и ресурсов, затраченных на техническое обслуживание;
- Продление нормального режима работы техники, повышение производительности и рентабельности;

- Гарантировать надежную работу техники на сезонных работах, таких как сбор урожая, посев.

Оцифровка автопарка автотрактора может осуществляться на следующих этапах:

Первичная диагностика ситуации: определение состояния парка, количества техники, режима эксплуатации на предприятии с техникой.

1. Установка сенсорного оборудования: на необходимые тракторы и сельскую технику устанавливаются GPS-трекеры, датчики.

2. Реализация системы сбора данных: подготовка инфраструктуры сбора, хранения, обработки телеметрических данных.

3. Аналитика и внедрение алгоритмов обслуживания: автоматизация графика обслуживания на основе собранных данных.

4. Оценка качества обслуживания и совершенствование системы: измерение эффективности внедренной системы, оптимизация на основе результатов.

Следуя этим этапам, предприятие может перевести систему технического обслуживания в цифровой формат.

При внедрении оцифровки могут возникнуть некоторые трудности:

- Сенсорное и телеметрическое оборудование, начальный расход систем-требуется инвестиции;

- Необходимо подготовить инфраструктуру сбора, обработки и хранения данных;

- На предприятиях технический персонал может иметь низкие цифровые навыки;

- Вопросы безопасности данных и защиты персональных данных;

- При переходе на новые системы необходимо изменение культуры обслуживания.

Для Казахстана эти вопросы должны решаться государством через субсидии, гранты, развитие инфраструктуры.

Цифровизация процессов технического обслуживания автотракторного парка дает сельхозпредприятиям значительную эффективность: повышает надежность техники, снижает затраты, оптимизирует процесс технического обслуживания. В условиях Казахстана это направление является важным и актуальным, так как имеет устаревший парк сельскохозяйственной техники и внедрение цифровых технологий способствует «умному» аграрному сектору.

В перспективе исследования должны рассмотреть конкретные цифровые решения для технического обслуживания, их экономическую эффективность, особенности внедрения и вопросы локализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная программа Республики Казахстан по развитию сельского хозяйства. - Астана, 2022. – 56 с.

2. Карабаев Б. Ж., Сейдахмет А. Т. Применение телеметрических систем в управлении сельскохозяйственной техникой // Казахский аграрный журнал. – 2021. – №3(12). - С. 45-53.
3. Иванов С. П., Петров А. В. Цифровизация технического обслуживания сельскохозяйственной техники // Сельхозмашины. – 2020. – №8(4). - С. 12-18.
4. Predictive maintenance [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Предиктивное_обслуживание
5. Цифровизация агросектора в Казахстане [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.gov.kz/memleket/entities/akimat/press/events/details/37834>
6. Более 300 владельцев в Казахстане внедрили "умные" технологии [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.inform.kz/ru/tsifrovizatsiya-vagrosetore-bolee-300-hozyaystv-vkazahstane-vnedrili-smart-tehnologii-44419a>

REFERENCES

1. State Program of the Republic of Kazakhstan on Agricultural Development. – Astana, 2022. – 56 p.
2. Karabayev B. Zh., Seidakhmet A. T. Application of telemetry systems in agricultural machinery management // Kazakh Agrarian Journal. – 2021. – No. 3(12). – P. 45–53.
3. Ivanov S. P., Petrov A. V. Digitalization of agricultural machinery maintenance // Agricultural Machinery. – 2020. – No. 8(4). – P. 12–18.
4. Predictive maintenance [Electronic resource]. – Access mode: https://ru.wikipedia.org/wiki/Предиктивное_обслуживание
5. Digitalization of the agricultural sector in Kazakhstan [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.gov.kz/memleket/entities/akimat/press/events/details/37834>
6. Over 300 farm owners in Kazakhstan have implemented "smart" technologies [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.inform.kz/ru/tsifrovizatsiya-vagrosetore-bolee-300-hozyaystv-vkazahstane-vnedrili-smart-tehnologii-44419a>

ИННОВАЦИОННЫЕ ЦИФРОВЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АГРАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Хайрова Н.Б.

Западно-Казахстанский аграрно технический университет
имени Жангир хана

Аннотация: В данной работе рассматриваются инновационные цифровые решения, применяемые в аграрном производстве с целью повышения его эффективности. Особое внимание уделяется таким технологиям, как точное земледелие, интернет вещей, искусственный интеллект и автоматизация сельскохозяйственных процессов. Анализируется их влияние на повышение урожайности, снижение затрат и рациональное использование природных ресурсов. Также рассматриваются основные проблемы внедрения цифровых технологий, включая высокую стоимость и необходимость подготовки специалистов. В заключение определяются перспективы развития цифровизации аграрного сектора и её роль в обеспечении устойчивого развития сельского хозяйства.

Ключевые слова: Цифровые технологии, сельское хозяйство, аграрное производство, точное земледелие, интернет вещей (IoT), искусственный интеллект, автоматизация, дроны, цифровизация, эффективность, инновации, устойчивое развитие

Original article

INNOVATIVE DIGITAL SOLUTIONS FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF AGRICULTURAL PRODUCTION

Khairova N.

West Kazakhstan Agrarian and Technical University
named after Zhangir khan

Abstract: This paper examines innovative digital solutions used in agricultural production to improve its efficiency. Particular attention is paid to technologies such as precision agriculture, the Internet of Things (IoT), artificial intelligence, and the automation of agricultural processes. Their impact on increasing crop yields, reducing costs, and ensuring the rational use of natural resources is analyzed. The paper also considers the main challenges of implementing digital technologies, including high costs and the need for trained specialists. In conclusion, the prospects for the development of digitalization in the agricultural sector and its role in ensuring sustainable agricultural development are outlined.

Keywords: Digital technologies, agriculture, agricultural production, precision agriculture, Internet of Things (IoT), artificial intelligence, automation, drones, digitalization, efficiency, innovation, sustainable development

Введение. В современных условиях стремительного развития технологий аграрный сектор также претерпевает значительные изменения. Традиционные методы ведения сельского хозяйства постепенно заменяются инновационными цифровыми решениями, которые существенно повышают эффективность производства. Это особенно важно в условиях роста численности населения, изменения климата и ограниченности природных ресурсов.

Цифровизация сельского хозяйства направлена на оптимизацию всех этапов производства – от подготовки почвы до сбора урожая и реализации продукции. Использование таких технологий, как точное земледелие, интернет вещей, искусственный интеллект и автоматизация, способствует более рациональному использованию ресурсов и снижению производственных затрат.

Таким образом, внедрение инновационных цифровых решений становится необходимым условием устойчивого развития аграрного производства и повышения его конкурентоспособности в современных условиях [1].

Основная часть. Инновационные цифровые решения играют ключевую роль в повышении эффективности аграрного производства. Одним из наиболее значимых направлений является точное земледелие, которое основано на использовании GPS-навигации, спутниковых данных и датчиков. Эти технологии позволяют анализировать состояние почвы, влажность и развитие растений, что обеспечивает точное внесение удобрений и воды в необходимых количествах [2,9].

Большое значение имеют дроны, которые используются для мониторинга сельскохозяйственных полей. С их помощью можно быстро выявлять заболевания растений, оценивать состояние посевов и контролировать большие территории с минимальными затратами времени и ресурсов.

Важную роль играет Интернет вещей (IoT). С помощью датчиков, установленных в почве и на оборудовании, собираются данные в реальном времени. Это позволяет автоматизировать процессы полива, удобрения и ухода за растениями, повышая точность и эффективность управления хозяйством [3,4].

Также активно развивается применение искусственного интеллекта (AI). Он анализирует большие объемы данных, помогает прогнозировать урожайность, выявлять риски и принимать оптимальные управленческие решения.

Кроме того, в аграрной отрасли внедряется автоматизация и роботизация. Современные машины способны выполнять посев, сбор урожая и другие операции без постоянного участия человека, что повышает производительность труда [5, 8].



Рисунок 1. Умное поле

В современном аграрном производстве активно используются различные цифровые технологии, каждая из которых выполняет определённые функции и способствует повышению эффективности отрасли.

Таблица 1 – Применение цифровых технологий в сельском хозяйстве

Технология	Применение	Эффект
Точное земледелие	Анализ почвы, дозированное внесение удобрений	Повышение урожайности, экономия ресурсов
Дроны	Мониторинг полей, выявление болезней растений	Быстрое обследование больших территорий
Интернет вещей (IoT)	Датчики влажности, температуры и состояния почвы	Автоматизация процессов, снижение затрат
Искусственный интеллект	Анализ данных, прогноз урожая	Улучшение управленческих решений
Роботизация	Посев, уборка урожая, автоматические системы	Повышение производительности труда

Точное земледелие применяется для анализа состояния почвы и растений, а также для дозированного внесения удобрений и воды. Это позволяет повысить урожайность и снизить затраты ресурсов.

Дроны используются для мониторинга сельскохозяйственных полей. Они помогают выявлять болезни растений, оценивать состояние посевов и контролировать большие территории в короткие сроки.

Интернет вещей (IoT) обеспечивает сбор данных с датчиков, установленных в почве и на оборудовании. Это позволяет автоматизировать процессы полива, внесения удобрений и управления сельским хозяйством.

Искусственный интеллект (AI) анализирует большие объемы данных, прогнозирует урожайность, выявляет риски и помогает принимать более эффективные управленческие решения.

Роботизация и автоматизация применяются для выполнения таких задач, как посев, уход за растениями и сбор урожая, что снижает затраты труда и повышает производительность [6].

Методы исследования

В данной работе использованы следующие методы исследования, позволяющие всесторонне рассмотреть тему инновационных цифровых решений в аграрном производстве:

1. Анализ научной литературы – изучение учебных пособий, статей и интернет-источников по цифровизации сельского хозяйства, точному земледелию и современным агротехнологиям.

2. Сравнительный анализ – сопоставление различных цифровых технологий (дроны, IoT, искусственный интеллект, автоматизация) по их эффективности и области применения.

3. Системный подход – рассмотрение аграрного производства как единой системы, в которой цифровые технологии взаимодействуют между собой и повышают общую эффективность.

4. Обобщение и синтез информации – формирование выводов на основе собранных данных о влиянии цифровизации на сельское хозяйство.

5. Наблюдение и практический анализ (теоретический) – изучение примеров внедрения цифровых технологий в реальных аграрных предприятиях и оценка их результатов [7,10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов В.В. Цифровые технологии в сельском хозяйстве. – Москва: Агропромиздат, 2022.
2. Иванов А.П. Инновации в аграрном производстве. – Санкт-Петербург: Лань, 2021.
3. Смирнов Д.С. Точное земледелие и современные агротехнологии. – Москва: Юрайт, 2023.
4. Петров С.Н. Автоматизация сельского хозяйства. – Москва: Наука, 2020.
5. FAO. Digital Agriculture Guidelines. – Rome, 2022.
6. World Bank. Digital Transformation in Agriculture. – Washington, 2023.
7. OECD. Agricultural Policy and Digital Innovation. – Paris, 2021.
8. <https://www.fao.org>
9. <https://www.worldbank.org>

10. <https://www.agriculture.com>

REFERENCES

1. Kuznetsov V V TSifrovye tekhnologii v selskom khoziaistve Moskva Agropromizdat 2022
2. Ivanov A P Innovatsii v agrarnom proizvodstve Sankt-Peterburg Lan 2021
3. Smirnov D S Tochnoe zemledelie i sovremennye agrotekhnologii Moskva IUrait 2023
4. Petrov S N Avtomatizatsiia selskogo khoziaistva Moskva Nauka 2020
5. FAO Digital Agriculture Guidelines Rome 2022
6. World Bank Digital Transformation in Agriculture Washington 2023
7. OECD Agricultural Policy and Digital Innovation Paris 2021
8. <https://www.fao.org>
9. <https://www.worldbank.org>
10. <https://www.agriculture.com>

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ФИКСАЦИИ ПРОСТОЕВ ТЕХНИКИ

А.Н. Морунков, И.А. Морунков

Пензенский государственный аграрный университет, г. Пенза, Россия

Аннотация: В статье изложены факторы, влияющие на эффективность работы сельскохозяйственной техники, применение цифровых технологий при контроле и анализе ее работы, а также рассмотрен принцип работы устройства для фиксации причин простоев сельскохозяйственной техники с применением современных способов передачи данных, позволяющий выявить основные факторы, позволяющие повысить эффективность работы техники.

Ключевые слова: геоинформационные системы, системы параллельного вождения, спутниковый мониторинг, устройство фиксации причин простоев сельскохозяйственной техники.

Original article

APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES FOR RECORDING EQUIPMENT DOWNTIME

A.N. Morunkov, I.A. Morunkov

Penza State Agrarian University, Penza, Russia

Abstract: The article outlines the factors influencing the operational efficiency of agricultural machinery and the application of digital technologies for monitoring and analyzing its performance. It also examines the operating principle of a device designed to record the causes of agricultural machinery downtime using modern data transmission methods, thereby enabling the identification of key factors for enhancing equipment efficiency.

Keywords: geoinformation systems, parallel guidance systems, satellite monitoring, device for recording causes of agricultural machinery downtime.

На современном этапе развития агропромышленного комплекса России важное значение имеет эффективное использование сельскохозяйственной техники как отечественного, так и зарубежного производства. Большинство технологических операций при возделывании сельскохозяйственных культур выполняется самоходными сельскохозяйственными машинами или машинно-тракторными агрегатами, от исправности и работоспособности которых зависит своевременность выполнения полевых работ.

Помимо технической исправности самоходной, прицепной и навесной сельскохозяйственной техники, входящей в состав машинно-тракторных агрегатов, важное значение имеет правильная организация работ, направленная

на минимизацию простоев техники как по техническим, так и по организационным причинам.

Развитие цифровых технологий в АПК позволило внедрить в сельскохозяйственное производство различные геоинформационные системы, позволяющие помимо мониторинга развития сельскохозяйственных культур контролировать и управлять различными видами потерь рабочего времени, оказывающего значительное влияние на производительность машинно-тракторных агрегатов и эффективность их использования [1,2].

Одним из факторов, оказывающих влияние на эффективность работы техники, является использование систем параллельного вождения самоходной сельскохозяйственной техники (опрыскивателей, разбрасывателей минеральных удобрений, уборочных комбайнов) и тракторов, позволяющих эффективно использовать ширину захвата сельскохозяйственных машин [3].

Использование систем спутникового мониторинга сельскохозяйственной техники позволяет дистанционно производить оценку их производительности, контролировать ход полевых работ и использовать телеметрическую передачу данных о работе самоходной сельскохозяйственной машины или машинно-тракторного агрегата [4], контролировать периодичность технического обслуживания и своевременного текущего или капитального ремонтов [5], а также анализировать эффективность использования техники [6].

Большинство используемых в настоящее время способов контроля эффективного использования техники не дают подробной и достаточной для анализа информации, способной выявить причины неэффективного использования техники как по техническим, так и по организационным причинам, что создает определенные проблемы в установлении истинных причин потерь рабочего времени и снижения эффективности работы сельскохозяйственной техники,

Для решения данной проблемы предлагается комплекс оборудования для фиксации причин простоев техники (рис. 1), состоящий из устройств фиксации причины простоя, передачи данных через GPS и регистрирующего устройства, в качестве которого может быть использована система спутникового мониторинга сельскохозяйственной техники. Устройство фиксации причины простоя техники состоит из клавиш управления и преобразователя входного сигнала.

Принцип работы данного комплекса оборудования состоит в том, что механизатор, управляющей самоходной сельскохозяйственной техникой или машинно-тракторным агрегатом, с помощью клавиш управления задает режим работы техники, отображающей ее работу при выполнении технологической операции или причину простоя (отсутствие семян, удобрений, транспорта для вывоза урожая от комбайна, неисправность техники, заправку техники топливом, перерыв на обед и т.д.), которая по каналам телеметрической системы передачи данных поступает в систему спутникового мониторинга техники, в которой формируется отчет о продолжительности той или иной причины простоя техники.

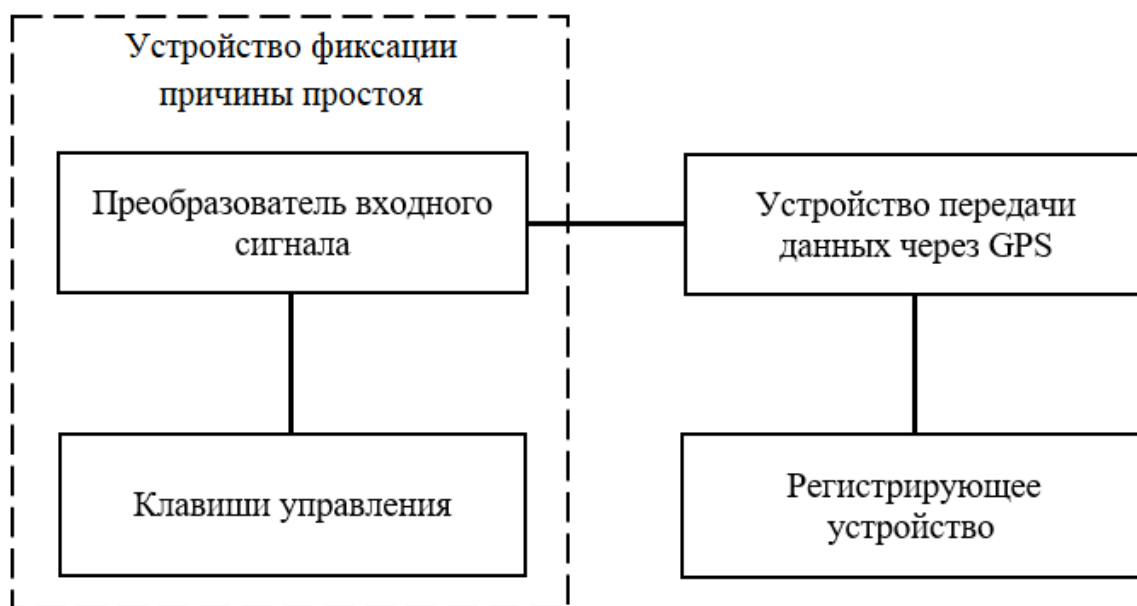


Рисунок 1. Комплекс оборудования для фиксации причин простоев техники

Руководители и специалисты сельскохозяйственного предприятия анализируют продолжительность простоев техники и причин их возникновения и имеют возможность принять меры технического или организационного характера для снижения простоев и повышения эффективности работы техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цифровые технологии в АПК / Р. С. Утицких, Р. Ш. Рамазанов, А. В. Формус [и др.] // Молодежная наука - развитию агропромышленного комплекса: Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Курск, 03–04 декабря 2020 года. Том Часть 4. – Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова, 2020. – С. 155-158. – EDN CMXRFA.
2. Болохонов, М. А. Преимущества комплексной цифровой платформы «Агросигнал» для управления предприятием АПК / М. А. Болохонов, А. Д. Салтанова // Аграрная наука и образование: проблемы и перспективы: Сборник статей Национальной научно-практической конференции, Саратов, 14 февраля – 17 2023 года. – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2023. – С. 73-76. – EDN KXRIDP.
3. Савватеева, С. А. Основные направления использования цифровых технологий в АПК / С. А. Савватеева // Проблемы управления, экономики и права в общегосударственном и региональном масштабах: сборник статей VIII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 70-летию Пензенского государственного аграрного университета, Пенза, 17–18 сентября

2021 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2021. – С. 108-111. – EDN IXGZZI.

4. Кулдошев, А. И. Системы цифрового мониторинга технического состояния сельскохозяйственных машин / А. И. Кулдошев, А. В. Шистеев // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК: материалы всероссийской студенческой научно-практической конференции: в IV томах, Иркутск, 17–18 февраля 2022 года. Том IV. – п. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2022. – С. 90-96. – EDN NURELQ.

5. Гринякин, Р. В. Современные тенденции организации системы технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники / Р. В. Гринякин, Н. А. Загородний, С. В. Дорохин // Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России: Материалы V Международной научной конференции, Красноярск, 21 ноября 2024 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2025. – С. 32-35. – EDN DSVITN.

6. Забазнова, Д. О. Цифровые технологии в учете и контроле агрохолдингов / Д. О. Забазнова // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2020. – Т. 3, № 2. – С. 94-104. – EDN YEXFEY.

REFERENCES

1. Digital Technologies in the Agro-Industrial Complex / R. S. Utitskikh, R. Sh. Ramazanov, A. V. Formus [et al.] // Youth Science for the Development of the Agro-Industrial Complex: Proceedings of the All-Russian (National) Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduate Students, and Young Scientists, Kursk, December 3–4, 2020. Volume Part 4. – Kursk: Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanov, 2020. – Pp. 155-158. – EDN CMXRFA.

2. Bolokhonov, M. A. Advantages of the Agrosignal Integrated Digital Platform for Managing an Agrarian Enterprise / M. A. Bolokhonov, A. D. Saltanova // Agrarian Science and Education: Problems and Prospects: Collection of Articles from the National Scientific and Practical Conference, Saratov, February 14-17, 2023. – Saratov: Vavilov University, 2023. – Pp. 73-76. – EDN KXRIDP.

3. Savvateeva, S. A. Main Directions of Using Digital Technologies in the Agro-Industrial Complex / S. A. Savvateeva // Problems of Management, Economics, and Law at the National and Regional Levels: Collection of Papers.

4. Kuldoshev, A. I. Digital Monitoring Systems for the Technical Condition of Agricultural Machinery / A. I. Kuldoshev, A. V. Shisteev // Scientific Research of Students in Solving Current Problems of the Agro-Industrial Complex: Proceedings of the All-Russian Student Scientific and Practical Conference : in IV volumes, Irkutsk, February 17–18, 2022. Volume IV. – Molodezhny: Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, 2022. – Pp. 90-96. – EDN NURELQ.

5. Grinyakin, R. V. Modern Trends in the Organization of the System of Technical Maintenance and Repair of Agricultural Machinery / R. V. Grinyakin, N. A. Zagorodny, S. V. Dorokhin // Resource-Saving Technologies in the Agro-Industrial

Complex of Russia: Materials of the V International Scientific Conference, Krasnoyarsk, November 21, 2024. – Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University, 2025. – Pp. 32-35. – EDN DSVITN.

6. Zabaznova, D. O. Digital Technologies in Accounting and Control of Agroholdings / D. O. Zabaznova // Economics and Management: Problems, Solutions. – 2020. – Vol. 3, No. 2. – Pp. 94-104. – EDN YEXFEY.

ДИАГНОСТИКА МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКА И СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ

Научная статья
УДК 629.113.539.538

ВЗАИМОСВЯЗЬ РЕСУРСА ДВС СО СТЕПЕНЬЮ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЕГО ОДНОИМЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ

С.А. Гребенников, А.С. Гребенников, А.В. Rogozhin

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
г. Саратов, Россия

Аннотация: приведены данные статистики о высокой вариации ресурса ДВС до капитального ремонта автотранспортных средств одной модели, эксплуатирующихся практически в идентичных условиях. Указаны причины низкой точности формирования заключения об остаточном ресурсе кривошипно-шатунного механизма двигателя по результатам диагностирования существующими способами и методом прогнозирования. Обосновывается методология прогнозирования ресурса автотракторного ДВС, учитывающая его взаимосвязь со степенью отличий значений структурных показателей в одноименных подшипниках коленчатого вала и цилиндропоршневой группе. Разработано встроенное в автотракторное средство устройство диагностирования неравномерности изменения технического состояния одноименных деталей в звеньях кривошипно-шатунного механизма ДВС.

Ключевые слова: ресурс, двигатель, одноименные сопряжения, износ, неравномерность, диагностирование, прогнозирование

Original article

INTERRELATION OF THE RESOURCE OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE WITH THE DEGREE OF UNIFORMITY OF THE TECHNICAL CONDITION OF ITS PARTS OF THE SAME NAME

S.A. Grebennikov, A.S. Grebennikov, A.V. Rogozhin

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia

Abstract: the data of statistics on the high variation of the resource of the internal combustion engine before overhaul of motor vehicles of one model, operated in almost identical conditions, are given. The article describes the reasons for the low accuracy of determining the residual resource of the engine's crankshaft mechanism based on the results of diagnostics using existing methods and forecasting techniques. The article also provides a methodology for predicting the resource of an automobile engine, taking into account its relationship with the degree of difference in the values

of structural indicators in the crankshaft bearings and the cylinder-piston group. A device for diagnosing the unevenness of changes in the technical condition of the same-name parts in the crank mechanism of an internal combustion engine has been developed.

Keywords: resource, engine, same-name joints, wear, unevenness, diagnostics, forecasting

Введение. Основу механизации производственных процессов в сельском хозяйстве России составляет автотракторная техника (АТТ), анализ возрастных групп которой показывает, что около 80% её общего числа эксплуатируется за пределами амортизационного срока (для V группы 10 лет), например, у 2/3 грузовиков КАМАЗ базовым агрегатам уже проведен капитальный ремонт.

Учитывая, что приобретение новой сельскохозяйственной техники в 2020...2025 годах не превышало 5%, а списанию подверглось не более 3%, то тенденция в использовании стареющего автотракторного парка сельскохозяйственными предприятиями различных форм собственности сохранится в ближайшее десятилетие. По статистике, эффективность эксплуатации техники за пределами амортизационного срока снижается на 25% и более. Основная причина - увеличение линейного расхода топлива двигателем на 15...20% и затрат на поддержание его работоспособности. Сложившееся положение с возрастом автотракторной техники требует научных изысканий по нахождению резервных возможностей сохранения её технико-экономических показателей в пределах экономической целесообразности использования.

Одним из направлений в увеличении ресурсных возможностей ДВС в АТТ считается совершенствование существующей методологии назначения нормативов по режимам проведения ТО и ремонта [1, 2, 3, 4], основанной на усредненных статистических данных надежности работы его основных механизмов и систем, не учитывающей индивидуальную неравномерность изменения структурных параметров в одноименных сопряжениях КШМ, ЦПГ, ГРМ. Коэффициент вариации их износа в одном ДВС достигает $v=0,4-0,7$, соответственно, и ресурсы двигателей имеют аналогичные значения v даже при эксплуатации АТТ в одинаковых условиях.

По этой причине, существующие способы и средства диагностирования ДВС, ориентированные также на среднестатистические нормативы предельных значений параметров технического состояния сопряжений, как правило, дают заниженную оценку их остаточного ресурса. Преждевременно выполненный ремонт ДВС изменяет условия приработки сопряженных деталей и, тем самым, повышает интенсивность изнашивания при дальнейшей его эксплуатации, значительно сокращая, заложенный конструкторами, полный ресурс ДВС.

Следовательно, проблемная задача по разработке более совершенной методологии прогнозирования остаточного ресурса ДВС по результатам диагностирования, учитывающей зависимость предельного значения диагностического или структурного параметра в одноименных элементах

агрегата от величины (размаха) неравномерности их износа, является актуальной.

Цель статьи – теоретически и экспериментально обосновать взаимосвязь ресурса ДВС со степенью неравномерности структурных параметров его одноименных деталей, а также разработать принципиальные основы конструктивного исполнения встроенного устройства диагностирования для определения неравномерности значений структурных параметров в звеньях кривошипно-шатунного механизма.

Материалы и методы. Теоретические исследования выполнены с использованием фундаментальных основ трибологии, теоретической механики и технической эксплуатации ДВС. Методологической основой экспериментальных исследований являлся системный подход к их организации, обеспечивающий индивидуальную оценку остаточного ресурса ДВС автомобиля, с заранее известными значениями неравномерности показателей структурных параметров в подшипниках коленчатого вала, имеющих примерно равные условия эксплуатации. Достоверность соответствия теоретических (прогнозируемых) и экспериментально полученных значений, характеризующих взаимосвязь ресурса ДВС со степенью неравномерности технического состояния его одноименных деталей, определяли по статистическим данным фактического использованного ресурса в подконтрольной группе автомобилей, отвечающих выше изложенным классическим принципам однородности выборки. Данные по надежности ДВС обрабатывались известными методами математического анализа.

Результаты исследований. Известно, срок службы ДВС лимитирован ресурсом КШМ и наиболее дорогостоящим его изделием - коленчатым валом, замена которого производится в случае предельного износа его шеек. В рядных ДВС предельного износа чаще достигают шатунные шейки коленчатого вала, в V-образных – коренные.

Практикуемая ныне технология текущего ремонта в АТП путем установки подшипников коленвала с ремонтными размерами основана на полях допуска, назначенных фирмой – изготовителем ДВС, при которой запчасти должны иметь значения структурных параметров меньше предельного S_{II} на конкретную величину D_0 , гарантирующую их работоспособное состояние на межремонтный период l_{mp} (рисунок 1).

При гамма-процентном нормировании ресурса [1] межремонтный пробег $l_{mp} = L_\gamma$ показан на рисунке 1. Из-за широкого поля допуска (в подшипниках КАМАЗ равен 36...81 мкм, в ЗМЗ - 26...83 мкм), реально сложившиеся при ремонте ДВС зазоры в КШМ, меньшие по значению D_0 , соответствуют и большему его ресурсу: $l_{mp} = L_{max} \gg L_\gamma$.

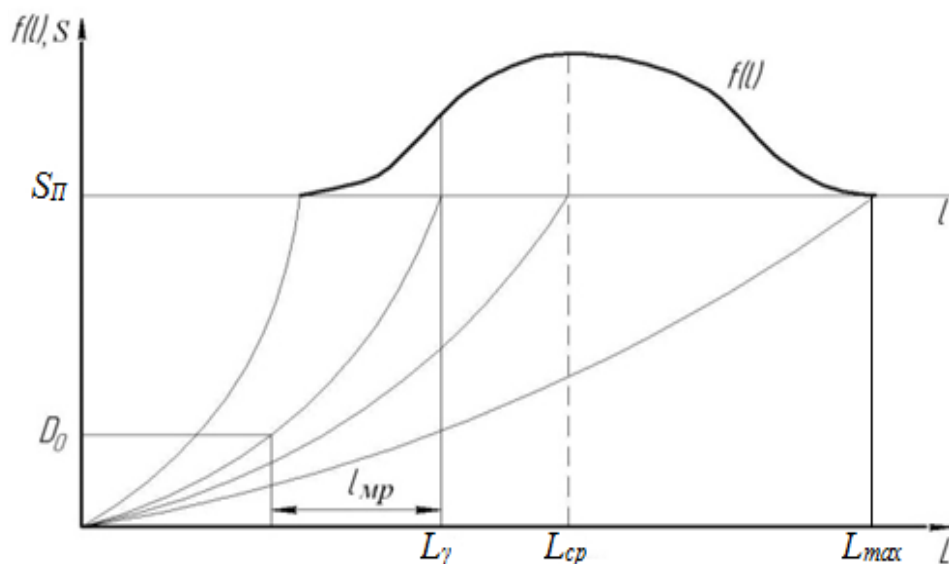


Рисунок 1. Взаимосвязь предельного структурного параметра S_{Π} в КШМ ДВС и их ресурса L при нормальном законе распределения:
 L_{γ} , $L_{ср}$, L_{max} – гамма-процентный, средний и максимально возможный ресурсы; D_0 – отклонение структурного параметра, обеспечивающее межремонтную наработку $l_{мр}$

Экспериментально доказано [4], что показатель предельного значения одноименных сопряжений ДВС зависит от неравномерности значений их структурных параметров (износа). Достижение максимального 100 %-го значения ресурса L_{max} ДВС в процессе эксплуатации возможно только с деталями КШМ, имеющими, при сборке, строго номинальные размеры по макро- и микрогеометрическим параметрам. Собранные статистические данные по двигателям подконтрольной группы АТС (рисунок 2) подтверждают сказанное: ДВС отремонтированные без учета сочетаний, в пределах допуска, структурных параметров заменяемых деталей КШМ, имеют разницу в ресурсах до КР и после выполненного КР более чем в два раза.

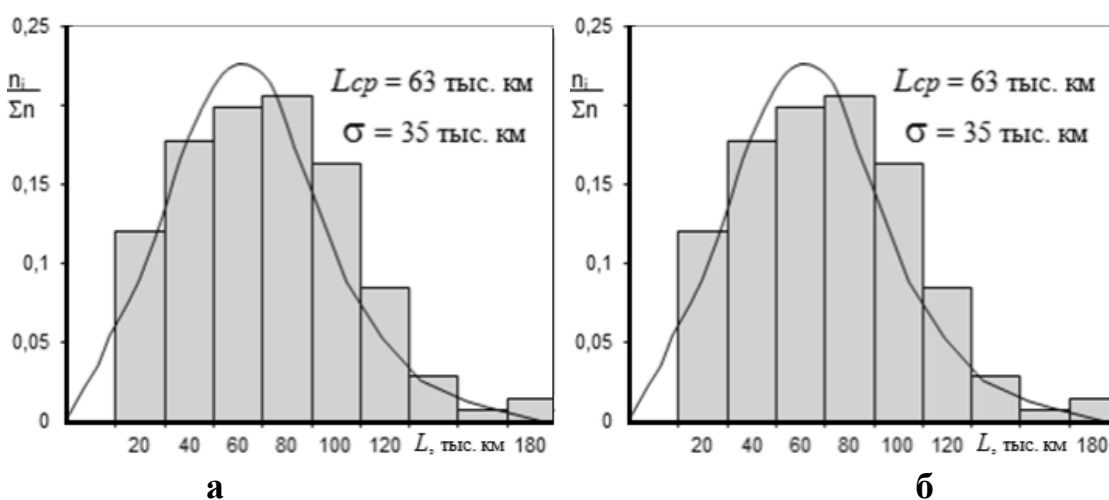


Рисунок 2. – Распределение ресурса L двигателей 3МЗ 4Ч 9,2/9,2 до КР (а) и после КР (б)

Установлено: чем больше разность исходных значений в структурных параметрах S_{01} и S_{02} в одноименных шатунных (в рядных ДВС) и коренных (в V-образных) подшипниках, тем выше интенсивность экспоненциального увеличения неравномерности их износа S_{nm} в процессе эксплуатации

$$S_{nm} = S_{01} \cdot e^{b_1 l} / S_{02} \cdot e^{b_2 l} = S_{nm0} \cdot e^{b_n l} \quad (1)$$

где $S_{nm0} = S_{01} / S_{02}$ – значение неравномерности зазоров в одноименных сопряжениях подшипников коленчатого вала после этапа приработки;

$b_n = b_1 - b_2$ – коэффициент интенсификации неравномерности износа одноименных подшипников,

соответственно, общий ресурс ДВС будет уменьшаться.

Таким образом, реализуемый ресурс $l_{pшп}$ всех одноименных звеньев подшипников ДВС в процессе эксплуатации уменьшается не пропорционально значению исходной неравномерности $S_{но}$, а интенсивнее – по экспоненциальной зависимости

$$l_{pшп} = \frac{1}{b_n} \ln \left(\frac{S_n - S_{nn}}{0,5 S_{но}} \right) \quad (2)$$

или в общем виде

$$l_{pшп} = S_n / \alpha - (0,5 S_{но} \cdot e^{b_n l}) / \alpha = l_{max} - B \cdot e^{b_n l}, \quad (3)$$

где l_{max} – потенциальный ресурс подшипников коленчатого вала при равенстве в них исходных структурных параметров, то есть при $S_{но}=0$;

$B = 0,5 S_{но} / \alpha$ – коэффициент снижения ресурса подшипников в зависимости от значения неравномерности исходных зазоров $S_{но}$.

Зависимость (3) свидетельствует о важности минимизации исходных значений неравномерности структурных параметров в одноименных сопряжениях КШМ двигателей. Зависимость (3) экспериментально подтверждена на исследуемой партии автомобилей с ДВС КамАЗ-740 (дизельный) и ЗМЗ 4С 9,2/9,2 (бензиновый). В частности, установлена зависимость предельного значения зазора $S_{л}$ в подшипниках от коэффициента неравномерности δ в них значений зазоров

$$\delta = \frac{S_{max} - S_{min}}{S_{cp}}. \quad (4)$$

Для шатунных подшипников значение предельного структурного параметра

$$S_{лшп} = 639 \cdot e^{-0,82 \delta_{ш}}, R^2 = 0,99,$$

в коренных подшипниках

$$S_{лк} = 500,3 \cdot e^{-0,63 \delta_k}, R^2 = 0,95.$$

Результаты экспериментальных данных исследователей [3, 4] также подтвердили аналитические выводы об экспоненциальной зависимости (3) ресурса ДВС АТТ, в составе которых функционируют одноименные элементы, от величины размаха исходных в них зазоров.

Заключение. Проведенными исследованиями подтверждена взаимосвязь ресурса ДВС со степенью начальной (исходной) неравномерности зазоров в подшипниках коленчатого вала от неравномерности их структурных показателей.

Любые исходные макро- и микрогеометрические отклонения от номинальных параметров увеличивают интенсивность изнашивания деталей, уменьшают предельные значения структурных показателей сопряжений и ресурс.

Комплектование сборочных единиц при ремонте агрегатов из деталей с различной степенью износа приводит к неконтролируемой неравномерности показателей их технического состояния, соответственно ресурс агрегата может варьироваться в широких пределах (рис. 1.3).

Обоснованные закономерности трансформации технического состояния и ресурса механизмов АТС от сложившегося показателя неравномерности структурных параметров во взаимосвязанных его одноименных элементах различного функционального назначения в процессе эксплуатации позволяют конструкторам и технологам автомобильной техники назначать допуски на изготовление одноименных деталей и требования по их комплектации в агрегате в соответствии с прогнозируемым ресурсом использования; техническим службам АТП и автосервиса - сократить трудоемкость диагностических работ по механизмам с взаимосвязанными одноименными элементами АТС в 2...3 раза, снизить эксплуатационные затраты на устранение неисправностей и простои в ремонте на 15...20%, обеспечивая более полное использование потенциального ресурса как отдельных механизмов, включая ДВС, так и АТТ в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдонькин Ф.Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей. М.: Транспорт, 1985. 215 с.
2. Гребенников С.А. Неравномерность изменения технического состояния элементов автомобиля: формы представления / С.А. Гребенников, А.С. Гребенников, А.В. Косарева // Мир транспорта и технологических машин, 2017. №3. – С.9-16.
3. Назаров А.Д. Дисбалансы автотракторных двигателей: определение и нормирование / А.Д. Назаров - М.: Машиностроение. 1992. - 272 с.
4. Санинский В.А. Групповая идентифицированная сборка вкладышей коренных подшипников скольжения с коренными опорами и коленчатым валом ДВС // Вестник машиностроения. 2006. № 4. С. 31-36.

REFERENCES

1. Avdonkin F.N. Theoretical Foundations of Technical Operation of Cars. Moscow: Transport, 1985. 215 p.

2. Grebennikov S.A. Uneven Change in the Technical Condition of Vehicle Elements: Forms of Presentation / S.A. Grebennikov, A.S. Grebennikov, A.V. Kosareva // World of Transport and Technological Machines, 2017. No. 3. pp. 9-16.
3. Nazarov, A.D. Unbalances of Automobile and Tractor Engines: Determination and Rationing / A.D. Nazarov. Moscow: Mechanical Engineering, 1992. 272 p.
4. Saninsky, V.A. Group Identified Assembly of Main Bearings with Main Supports and Engine Crankshaft // Bulletin of Mechanical Engineering. 2006. No. 4. Pp. 31-36.

РАЗРАБОТКА СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ БОРТОВОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДВС ПО МОЩНОСТИ И КРУТЯЩЕМУ МОМЕНТУ

Бекбулатов Н. Р., Шерстнев Н. А.

*Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Казанский
(Приволжский) федеральный университет», г. Набережные Челны, Россия*

Аннотация: в статье рассмотрены вопросы разработки бортовых систем диагностирования дизельных двигателей коммерческих автомобилей по крутящему моменту. Обоснована необходимость перехода от стационарных стендов к непрерывному бортовому контролю. Описана применимость крутящего момента как интегрального диагностического параметра.

Ключевые слова: бортовая диагностика, двигатель внутреннего сгорания, бортовая система, мощность, крутящий момент, тензодатчик, двигатель КАМАЗ — 910 K5.

DEVELOPMENT OF MODERN METHODS AND TOOLS FOR ON- BOARD DIAGNOSTICS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES BY POWER AND TORQUE

N. R. Bekbulatov, N. A. Sherstnev

*Naberezhnye Chelny Institute (branch) of the Kazan (Volga Region) Federal
University, Naberezhnye Chelny, Russia*

Abstract: This article examines the development of on-board diagnostic systems for commercial vehicle diesel engines by torque. The need for a transition from stationary test benches to continuous on-board monitoring is substantiated. The applicability of torque as an integral diagnostic parameter is described.

Keywords: on-board diagnostics, internal combustion engine, on-board system, power, torque, strain gauge, KAMAZ-910 K5 engine.

Введение. Современный рынок грузовых перевозок требует максимального коэффициента технической готовности транспортных средств. Новые магистральные тягачи (например, КАМАЗ-54901 поколения K5 с рядными двигателями серии Р6) характеризуются большими годовыми пробегами. При этом межсервисные интервалы увеличены настолько, что автомобиль заезжает на плановое техническое обслуживание (ТО) фактически один раз в год.

В таких условиях классические методы контроля технического состояния теряют эффективность. Использование стационарных постов диагностики на

базах дислокации техники и сервисных центрах становится проблематичным: автомобили постоянно находятся в рейсах и редко возвращаются в парк. Возникает критическая необходимость в создании интеллектуальных систем бортовой диагностики. Они должны непрерывно собирать информацию в реальных дорожных условиях, прогнозировать остаточный ресурс и заблаговременно формировать точный перечень ремонтных и регулировочных работ, которые необходимо выполнить строго во время единственного за год визита на сервис.

Обоснование выбора мощности и крутящего момента как диагностического параметра

Стандартные бортовые системы считывают базовые параметры через CAN-шину (давление масла, температуры, обороты), но они не выявляют скрытые дефекты на ранних стадиях.

Эффективная мощность и полезный крутящий момент являются главными интегральными показателями ДВС, отражающими эффективность процессов преобразования энергии в каждом цилиндре.

Изменение параметров технического состояния любого функционального узла неизбежно приводит к падению этих величин. На примере современных высокотехнологичных шестицилиндровых рядных дизелей КАМАЗ серии Р6 (семейство 910.10 мощностью от 380 до 550 л.с. и крутящим моментом от 1717 до 2551 Н·м) можно выделить следующие ключевые зависимости:

- **Цилиндропоршневая группа (ЦПГ):** Естественный износ деталей и падение компрессии снижают индикаторное давление в цилиндрах, вызывая прямую потерю крутящего момента.
- **Газораспределительный механизм (ГРМ):** Смещение фаз вследствие износа цепного или шестеренчатого привода ухудшает коэффициент наполнения цилиндров воздухом, из-за чего падает максимальная полезная мощность на высоких оборотах.
- **Топливная система:** Загрязнение распылителей форсунок Common Rail нарушает стехиометрию и ухудшает качество сгорания смеси, что проявляется в локальной поцилиндровой разбалансировке крутящего момента.

Анализ современных методов бортового диагностирования ДВС по крутящему моменту и эффективной мощности

Методы определения крутящего момента $M_{кр}$ и мощности двигателя N_e неразрывно связаны между собой, так как мощность двигателя напрямую рассчитывается через крутящий момент и частоту вращения вала n по формуле:

$$N_e = \frac{M_{кр} * n}{9550}$$

Все существующие подходы их определения делятся на две большие группы: стендовые и безнагрузочные (парциальные).

1. Стендовые или нагрузочные методы - требуют демонтажа двигателя или установки автомобиля на специальные роликовые стенды, но являются самыми точными:

- **Колесные (роликовые) стенды:** Автомобиль загоняется колесами на барабаны стенда. Стенд создает сопротивление (нагрузку) и измеряет силу, передаваемую от колес. Мощность двигателя рассчитывается с учетом потерь в трансмиссии.

- **Моторные стенды:** Двигатель демонтируют и подключают напрямую к тормозной установке (гидравлическому, балансирному или электродинамическому тормозу). Метод позволяет с высокой точностью оценить «чистую» мощность на коленчатом валу.

- **Торсиометрические вставки:** Между валом двигателя и потребителем энергии устанавливается измерительный датчик-вал (тензометрический или фазометрический). Он непрерывно фиксирует крутящий момент прямо в процессе работы под нагрузкой.

2. Эксплуатационные и диагностические методы - позволяют определить параметры без использования громоздких тормозных стендов, часто прямо в процессе штатной эксплуатации косвенным признакам:

- **Динамический метод (метод свободной раскрутки):** Двигатель резко разгоняют с холостых оборотов до максимальных на нейтральной передаче. Блок диагностики фиксирует угловое ускорение коленчатого вала. Зная момент инерции вращающихся масс, компьютер вычисляет мгновенный крутящий момент и мощность.

- **Расчет по параметрам рабочего процесса (для ДВС):**

- **По расходу воздуха и топливоподаче:** Электронный блок управления (ЭБУ) оценивает массу поступающего в цилиндры воздуха и объем впрыснутого топлива, рассчитывая выделяемую энергию.

- **По давлению газов:** В свечные колодцы или технологические отверстия устанавливаются датчики давления. Мощность вычисляется через индикаторное давление в цилиндрах.

- **Электрический метод (для электромоторов и гибридов):** Мощность и момент рассчитываются мгновенно по силе тока, напряжению, частоте питающего поля и известному КПД электродвигателя.

Таким образом существующие способы определения мощности и крутящего момента (индуктивные, тензометрические, магнитоупругие и другие) сложны в реализации и требуют больших трудозатрат. Они малоприспособлены для работы в реальных условиях, так как измеряют показатели непосредственно на вращающемся коленчатом валу, что сильно усложняет конструкцию измерительных устройств и ограничивает их универсальность.

Метод определения эффективной мощности и крутящего момента по среднему значению усилия двигателя на раму автомобиля

Авторами [4, 5] была предложена методика определения эффективной мощности и крутящего момента исходя из среднего значения усилия, передаваемого двигателем раме транспортного средства на основе зависимости:

$$\begin{cases} N_e = M_{кр} \omega = F_{ср} r_{ср} \omega - \text{эффективная мощность двигателя} \\ M_{кр} = F_{ср} r_{ср} - \text{крутящий момент двигателя} \end{cases}$$

где: $F_{ср} = \frac{F_i \frac{I_n}{I_{вр}}}{n_{оп}}$ - средняя величину создаваемого двигателем усилия;

I_n - момент инерции покоящихся деталей двигателя, кгм²;

$I_{вр}$ - момент инерции вращающихся деталей двигателя, кгм²;

$n_{оп}$ -количество опор двигателя;

$r_{ср} = const$ – среднее расстояние от центра коленчатого вала до центра точки измерения усилия, м;

ω – угловая скорость вращения коленчатого вала, с⁻¹.

Технология измерений следующая: при первичном испытании аналитически находят функцию эффективной мощности и крутящего момента двигателя от измеренного усилия, передаваемого двигателем на раму транспортного средства (определяются граничные значения - минимальное и максимальное значения эффективной мощности и крутящего момента), далее, при последующих испытаниях двигателя, измеряют среднее значение усилия, передаваемого раме транспортного средства и определяют эффективную мощность двигателя и его крутящий момент (рис.1)

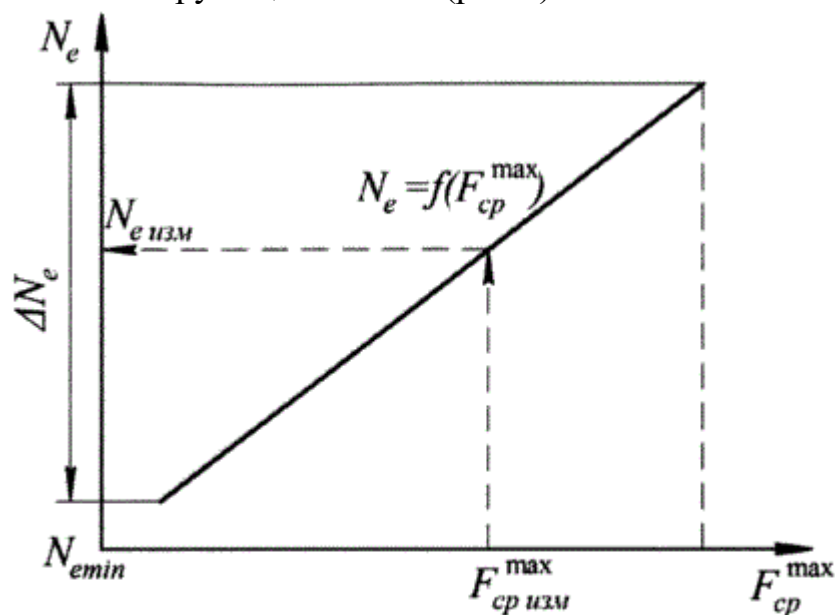


Рисунок 1. Способ определения эффективной мощности двигателя внутреннего сгорания по крутящему моменту.

Применение данного метода на автомобилях КАМАЗ

Разрабатываемое оборудование представляет собой программно-аппаратный комплекс бортового базирования. В его состав входят:

1. Комплекс тензометрических датчиков для измерения усилия, передаваемого двигателем раме транспортного средства.
2. Измерительный преобразователь - адаптер интерфейса и питания

3. Электронный блок управления двигателем.

При выборе первичного преобразователя были рассмотрены три основных типа датчиков измерения силы:

1. **Проводные (фольговые) тензорезисторы.** Имеют низкую стоимость, но сложны в монтаже на вращающиеся валы в серийном производстве.

2. **Полупроводниковые датчики.** Обладают высоким тензоэффектом, но нестабильны при резких перепадах температур под капотом.

3. **Бесконтактные магнитострикционные/тензометрические узлы.** Оптимальны для коммерческого транспорта благодаря отсутствию изнашиваемых токосъемников.

Для интеграции в автомобиль КАМАЗ-54901 с двигателем серии Р6 (модель 910.12-450) предлагается использовать бесконтактные тензометрические датчики монтируемые на раму в место крепления двигателя (между под подушкой двигателя и рамой).

Критерии выбора датчика:

- Рабочий диапазон измерений: до 20000 Н*м с учетом веса двигателя и пиковых колебаний реактивного момента при резком старте и переключении передач
- Диапазон рабочих температур: от -50°C до $+100^{\circ}\text{C}$ (соответствует климатическому исполнению «У» по ГОСТ 15150-69).
- Высокая вибростойкость и класс защиты не ниже IP67.

Требования к измерительному преобразователю:

- Фильтрация высокочастотных шумов и наводок от системы электрооборудования автомобиля.
- Усиление слабого аналогового сигнала тензорезисторов.
- Аналогово-цифровое преобразование (АЦП) с частотой дискретизации не менее 2 кГц.
- Передачу данных по интерфейсу CAN-шины в штатный электронный блок управления (ЭБУ) двигателем по схеме: датчик-преобразователь - ЭБУ

Заключение. Разработка и интеграция бортовых средств диагностики ДВС по параметрам мощности и крутящего момента радикально меняет подход к эксплуатации коммерческого транспорта. Постоянный мониторинг выходных характеристик двигателя дает возможность обнаруживать дефекты ЦПГ, ГРМ и топливной аппаратуры на предиктивной стадии. Накопленные за сотни тысяч километров пробега данные позволяют сформировать исчерпывающий объем ремонтных процедур, которые при проведении ежегодного ТО минимизируют простои и оптимизируя затраты перевозчика

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулаков А. Т., Денисов А. С., Макушин А. А. Эксплуатационная надежность автомобильных двигателей. — Саратов: СГТУ, 2018. — 256 с.
2. Стандарт SAE J1979. Идентификаторы параметров бортовой диагностики (OBD-II PIDs).
3. Патент № 2669224 С2 Российская Федерация, МПК G01M 15/00, G01L 3/24. Способ определения эффективной мощности двигателя внутреннего сгорания / Гуськов Юрий Александрович, Курносков Антон Федорович; заявл. 07.02.2017 ; опубл. 09.10.2018, Бюл. № 28. — 8 с. : ил. — Текст : непосредственный.
4. Патент № 2589973 С2 Российская Федерация, МПК G01L 3/24. Способ определения эффективной мощности двигателя внутреннего сгорания в процессе разгона / Хабардин С. В., Такаландзе Г. О., Хабардин В. Н., Михайлов Н. А. — № 2014148557/06; заявл. 02.12.2014; опубл. 10.07.2016, Бюл. № 19. — 6 с. : ил. — Текст : непосредственный.

REFERENCES

1. Kulakov A. T., Denisov A. S., Makushin A. A. Operational reliability of automotive engines. — Saratov: SSTU, 2018. — 256 p.
2. SAE J1979 Standard. On-Board Diagnostic Parameter Identifiers (OBD-II PIDs).
3. Patent No. 2669224 C2 Russian Federation, IPC G01M 15/00, G01L 3/24. Method for determining the effective power of an internal combustion engine / Guskov Yuri Alexandrovich, Kurnosov Anton Fedorovich; declared 07.02.2017; published 09.10.2018, Bulletin No. 28. — 8 p. : ill. — Text : direct.
4. Patent No. 2589973 C2 Russian Federation, IPC G01L 3/24. Method for determining the effective power of an internal combustion engine during acceleration / Khabardin S. V., Takalandze G. O., Khabardin V. N., Mikhailov N. A. — No. 2014148557/06; declared 02.12.2014; published 10.07.2016, Bulletin No. 19. — 6 p. : ill. — Text : direct.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В АПК

Р.Д. Гончаров

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии
и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация: в статье рассмотрены возможности применения телеметрических данных для оценки технического состояния мобильных энергетических средств сельскохозяйственного назначения. Показана возможность использования телеметрической информации для раннего выявления предотказных состояний и перехода к предиктивному техническому обслуживанию.

Ключевые слова: предиктивное обслуживание, телеметрия, сельскохозяйственная техника, мониторинг, диагностика, Агротрек, техническое состояние.

Original article

USING TELEMETRY DATA TO PREDICT THE TECHNICAL CONDITION OF MOBILE POWER UNITS IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

R.D. Goncharov

Saratov State University of genetics, biotechnology and engineering
named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Abstract: The article examines the potential application of telemetry data for assessing the technical condition of mobile power units used in agriculture. It demonstrates the feasibility of using telemetry information for the early detection of pre-failure conditions and the transition to predictive maintenance.

Keywords: predictive maintenance, telemetry, agricultural machinery, monitoring, diagnostics, Agrotrek, technical condition

Введение. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности эксплуатации современной сельскохозяйственной техники, от надежности которых напрямую зависит соблюдение агротехнических сроков и урожайность. Анализ факторов, влияющих на надежность работы техники, показывает, что основными причинами отказов являются высокие эксплуатационные нагрузки, естественный износ узлов и агрегатов, нарушения правил эксплуатации, а также неблагоприятные условия окружающей среды. Традиционные методы технического обслуживания основаны преимущественно на регламентных интервалах и не учитывают

фактическое состояние техники, что приводит к дополнительным затратам и внеплановым простоям [1].

Методика исследований. Экспериментальная база включает мобильные энергетические средства (тракторы, зерноуборочные комбайны), IoT-датчики и диагностическое оборудование. Центральным элементом выступает программная платформа «Агротрек» с вычислительной инфраструктурой для интеллектуального анализа информации. Архитектура платформы построена на базе распределенных микросервисов. Пользовательский веб-интерфейс UI (React TS) взаимодействует с центральной точкой входа Gateway Service, обеспечивающей маршрутизацию запросов и проверку токенов. Сбор данных с датчиков (например, GalileoSky) осуществляется через Sensor Service: бинарные TCP-пакеты расшифровываются и направляются в систему очередей сообщений Kafka, откуда их забирает основной сервис хранения Resource Service. Использование Kafka гарантирует отказоустойчивость: при нестабильной работе интернета - данные накапливаются и не теряются [2].

Результаты исследований. Проведен анализ возможности использования телеметрических данных для выявления предотказных состояний техники. На начальном этапе был реализован эксперимент 1 и 2 (рисунок 1), направленный на проверку сбора и достоверности данных в системе «Агротрек». Полученные через платформу цифровые значения сопоставлялись с фактическими данными из сервисных журналов: сравнивались моточасы по приборной панели, маршруты работы, реальный расход топлива, время простоя и зафиксированные факты ремонта [3].

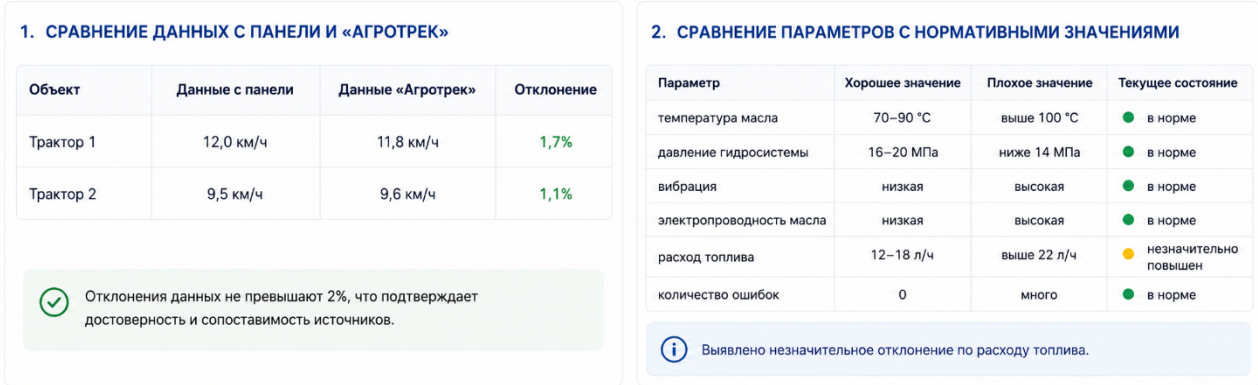


Рисунок 1. Проведение экспериментов с использованием платформы «Агротрек»

Предлагаемый подход обеспечивает переход от регламентного обслуживания к обслуживанию по фактическому техническому состоянию. Использование платформы «Агротрек» позволяет объединить процессы мониторинга, хранения данных и интеллектуального анализа в единой цифровой среде.

Заключение. Использование телеметрических данных сельскохозяйственной техники позволяет повысить эффективность диагностики и своевременно выявлять признаки ухудшения технического

состояния. Платформа «Агротрек» обеспечивает сбор и обработку эксплуатационной информации, необходимой для реализации технологий предиктивного обслуживания. Предложенный подход может быть использован при создании интеллектуальных систем поддержки принятия решений в области технической эксплуатации мобильных энергетических средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Катаев, Ю. В. Актуальные вопросы системы технического сопровождения сложной сельскохозяйственной техники в АПК / Ю. В. Катаев, В. С. Герасимов, И. А. Тишанинов // Техника и оборудование для села. – 2024. – № 2(320). – С. 2-7. – DOI 10.33267/2072-9642-2024-2-2-7. – EDN LDKGXM.
2. Гончаров, Р. Д. Методика цифрового мониторинга работы полевого персонала и сервисных служб / Р. Д. Гончаров, С. В. Чумакова // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2025. – № 4(76). – С. 106-115. – DOI 10.31563/1684-7628-2025-76-4-106-115. – EDN OMTFLK.
3. Гончаров, Р. Д. Перспективы применения IoT-технологий в мониторинге сельскохозяйственной техники: разработка и апробация платформы «Агротрек» / Р. Д. Гончаров // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2025. – № 3(59). – С. 92-101. – EDN CQJMVQ.

REFERENCES

1. Kataev, Yu. V. Current Issues of the Technical Support System for Complex Agricultural Machinery in the Agro-Industrial Complex / Yu. V. Kataev, V. S. Gerasimov, I. A. Tishaninov // Machinery and Equipment for Rural Area. – 2024. – No. 2(320). – P. 2–7. – DOI 10.33267/2072-9642-2024-2-2-7. – EDN LDKGXM.
2. Goncharov, R. D. Methodology for Digital Monitoring of Field Personnel and Service Departments / R. D. Goncharov, S. V. Chumakova // Bulletin of the Bashkir State Agrarian University. – 2025. – No. 4(76). – P. 106–115. – DOI 10.31563/1684-7628-2025-76-4-106-115. – EDN OMTFLK.
3. Goncharov, R. D. Prospects for the Application of IoT Technologies in Agricultural Machinery Monitoring: Development and Testing of the Agrotrek Platform / R. D. Goncharov // Bulletin of Omsk State Agrarian University. – 2025. – No. 3(59). – P. 92–101. – EDN CQJMVQ.

КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ГИДРАВЛИЧЕСКОМ МАСЛЕ НА ОСНОВЕ ИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

С.А. Шишурин, А.Д. Исаев

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация: данной статье представлен комплексный подход к диагностике состояния гидравлического масла с использованием импедансной спектроскопии. Рассмотрены современные методы контроля загрязнения масел, применяемые для повышения надежности и эффективности гидравлических систем сельскохозяйственной техники. Представлен разработанный мобильный комплекс для оперативного обнаружения загрязняющих веществ, основанный на анализе изменений импеданса. Описаны экспериментальные исследования по определению чувствительности датчика к различным типам загрязнителей: металлические частицы (железо, медь), вода и другие примеси. Приведены результаты тестирования предложенного метода и перспективы его применения в условиях реального времени.

Ключевые слова: гидравлическая жидкость, загрязнение, импедансная спектроскопия, диагностика, датчик, мониторинг состояния, контроль качества масла.

Original article

COMPLEX METHOD FOR DETECTION OF CONTAMINANTS IN HYDRAULIC OIL BASED ON IMPEDANCE SPECTROSCOPY

S.A. Shishurin, A.D. Isaev.

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Annotation: This article presents a comprehensive approach to diagnosing the condition of hydraulic oil using impedance spectroscopy. Modern methods of oil contamination control used to improve the reliability and efficiency of hydraulic systems in agricultural machinery are considered. A mobile complex for rapid detection of contaminants based on impedance analysis is presented. Experimental studies on determining the sensor's sensitivity to various types of contaminants such as metallic particles (iron, copper), water and other impurities are described. The results of testing the proposed method and its application prospects in real-time conditions are given.

Keywords: hydraulic fluid, contamination, impedance spectroscopy, diagnostics, sensor, condition monitoring, oil quality control.

Введение. Гидравлические системы являются неотъемлемой частью современных энергетических средств, особенно в сельскохозяйственной технике. Контроль загрязнения масел играет ключевую роль в обеспечении надежности и долговечности работы гидрооборудования. По данным исследований, до 70% отказов гидравлических систем вызваны загрязнением рабочей жидкости твердыми частицами [1]. В связи с этим возникает задача создания высокоточных, мобильных и оперативно работающих систем анализа масел.

Традиционные методы оценки состояния гидравлического масла включают спектрометрический анализ, оптическую спектроскопию, измерение вязкости, температуры застывания и автоматический подсчет частиц (APC). Однако данные методы имеют ряд ограничений, таких как отсутствие возможности оперативного анализа в полевых условиях, сложность идентификации конкретного типа загрязнителя и недостаточная точность при низкой концентрации загрязняющих веществ.

В рамках настоящего исследования предлагается использование импедансной спектроскопии для детектирования загрязняющих частиц в гидравлическом масле. Метод позволяет регистрировать изменения электрического сопротивления и индуктивности, вызванные прохождением загрязнителей через измерительный канал датчика.

Целью исследования является разработка и апробация мобильного комплекса для оперативного обнаружения загрязняющих веществ в гидравлическом масле на основе импедансной спектроскопии, обеспечивающего возможность анализа масел в реальных условиях эксплуатации сельскохозяйственной техники.

Для реализации цели исследования была разработана испытательная платформа, состоящая из следующих компонентов:

- Шприцевой насос — для точной подачи масла через датчик.
- Измеритель LCR (индуктивность, ёмкость, сопротивление) — для регистрации электрических параметров.
- Программное обеспечение — для обработки сигналов, анализа данных и визуализации.
- Проточный датчик с катушкой индуктивности — основной элемент системы, предназначенный для детектирования загрязняющих частиц.

Схема работы:

1. Образец масла подается через шприцевой насос в проточный датчик.
2. При прохождении через катушку индуктивности загрязняющие частицы вызывают изменения в импедансе.
3. Измеритель LCR фиксирует эти изменения.
4. Программа обрабатывает данные: вычитает фоновый сигнал, определяет амплитуду импульсов, рассчитывает размер частиц.
5. Результаты выводятся в виде графиков и таблиц.

Образцы гидравлического масла были подготовлены следующим образом:

В качестве эталонного образца использовалось масло, прошедшее тщательную очистку от примесей. В данный эталонный образец были последовательно внесены контролируемые количества различных загрязнителей. Среди металлических частиц были использованы железо (Fe) и медь (Cu) с широким диапазоном размеров (от 30 до 300 микрон). Водная фаза была представлена в объемах от 10 до 80 микролитров. Также были включены твердые неметаллические частицы, в частности, кремний (Si). Для обеспечения статистической достоверности каждый тип загрязнителя был протестирован не менее пяти раз.

Для обеспечения точности и воспроизводимости результатов экспериментальной процедуры, необходимо было провести ряд предварительных и контрольных мероприятий. Прежде всего, канал датчика подвергался тщательной очистке посредством промывания чистым маслом с целью удаления возможных загрязнений и адсорбированных частиц. Это позволяло минимизировать влияние посторонних факторов на результаты измерений.

Температура масла поддерживалась на уровне 25°C, что обеспечивало постоянство условий и исключало влияние температурных колебаний на полученные данные. Для повышения точности измерений и снижения систематических ошибок, направление потока масла варьировалось несколько раз.

Перед началом каждого замера производился сброс базового уровня сигнала, что позволяло нивелировать фоновые шумы и дрейф показаний. Все экспериментальные данные фиксировались программным обеспечением в формате CSV, что обеспечивало их последующую обработку и анализ с использованием специализированных методов статистической обработки и визуализации.

Было проведено сравнение реакции датчика на частицы разных металлов и размеров.

Таблица 1 – Реакция датчика на частицы меди и железа различного размера

Размер частиц, мкм	Металл	ΔR (Ом)	ΔL (Гн)	Характеристика
35	Fe	0.002	$+6.7 \times 10^{-10}$	Положительный импульс индуктивности
90	Cu	0.004	Незначительно	Положительный импульс сопротивления
135	Cu	0.018	-4.1×10^{-10}	Отрицательный импульс индуктивности
300	Fe	0.045	$+1.2 \times 10^{-9}$	Высокий положительный импульс

В рамках проведённого исследования был разработан мобильный комплекс для оперативного выявления загрязняющих веществ в гидравлическом масле на основе импедансной спектроскопии. Этот подход продемонстрировал высокую эффективность в идентификации металлических частиц посредством анализа параметров сопротивления и индуктивности. Также была подтверждена возможность определения содержания воды в масле путём мониторинга изменений в ёмкости.

В процессе экспериментов были установлены зависимости между размерами частиц и амплитудой импульсов индуктивности и сопротивления, что позволило создать надёжные модели для количественной оценки загрязнённости масла. На основании полученных данных были определены направления дальнейшей модернизации датчика. В частности, планируется повышение верхнего порога обнаружения частиц, улучшение помехозащищённости и разработка вакуумной системы для пропускания масла.

Внедрение предложенного метода в системы технического обслуживания сельскохозяйственной техники позволит прогнозировать состояние гидравлических систем и минимизировать простои оборудования, что является важным фактором повышения эффективности эксплуатации сельскохозяйственной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов В. Н., Петров С. Л. Диагностика состояния гидравлических систем по параметрам рабочей жидкости // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2020. – № 3. – С. 45–52.
2. Кузнецов А. П., Смирнов В. И. Современные методы мониторинга чистоты гидравлического масла // Смазочные материалы. – 2021. – № 5. – С. 12–18.
3. Баранов А. В., Подвальный С. Л. Методы анализа загрязнений в гидравлических системах мобильных машин // Научно-технический вестник. – 2019. – № 4(16). – С. 88–95.
4. Zhang Y., Wang L. Impedance Spectroscopy for Oil Contamination Detection in Hydraulic Systems // Journal of Sensors and Sensing Systems. – 2022. – Vol. 11, No. 2. – P. 45–53. DOI: 10.5194/jsss-11-45-2022
5. Smith J., Brown T. Real-time Monitoring of Hydraulic Fluid Condition Using Electromagnetic Sensors // Tribology Transactions. – 2021. – Vol. 64, No. 3. – P. 412–420.
6. Андрюшечкина Н. А. Интернет вещей в сельском хозяйстве // Научно-технический вестник: Технические системы в АПК. – 2020. – № 1(6). – С. 42–47.
7. CLAAS TELEMATICS: цифровое измерение агробизнеса // АгроФорум. – 2021. – № 4. – С. 58–59.
8. Barabanov A.V. Structural Modeling of Continuous Multi-Center Polymerization Processes // Automation and Remote Control. – 2012. – Vol. 73, № 7. – P. 1265–1268.

9. Информационные и программно-алгоритмические средства в технологическом процессе выполнения технического обслуживания трактора Fendt 936 Vario / Р. Д. Гончаров, А. Д. Исаев, А. А. Алтарев [и др.] // Проблемы и перспективы цифровизации агропромышленного комплекса: Материалы Международной научно-практической конференции, Саратов, 07 декабря 2023 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, 2023. – С. 29–34.
10. Гольцяпин В. Я. Анализ систем телеметрии и мониторинга сельскохозяйственной техники // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: Материалы IX Международной научно-практической конференции "ИнформАгро-2017", п. Правдинский, Московская область, 07–09 июня 2017 года. – п. Правдинский, Московская область: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2017. – С. 348–352.

REFERENCES

1. Ivanov V. N., Petrov S. L. Diagnostics of hydraulic system condition based on working fluid parameters // Technical Diagnostics and Non-Destructive Testing. – 2020. – No. 3. – P. 45–52.
2. Kuznetsov A. P., Smirnov V. I. Modern methods for monitoring hydraulic oil cleanliness // Lubricants. – 2021. – No. 5. – P. 12–18.
3. Baranov A. V., Podvalny S. L. Methods for analyzing contamination in hydraulic systems of mobile machinery // Scientific and Technical Bulletin. – 2019. – No. 4(16). – P. 88–95.
4. Zhang Y., Wang L. Impedance Spectroscopy for Oil Contamination Detection in Hydraulic Systems // Journal of Sensors and Sensing Systems. – 2022. – Vol. 11, No. 2. – P. 45–53. DOI: 10.5194/jsss-11-45-2022
5. Smith J., Brown T. Real-time Monitoring of Hydraulic Fluid Condition Using Electromagnetic Sensors // Tribology Transactions. – 2021. – Vol. 64, No. 3. – P. 412–420.
6. Andryushechkina N. A. Internet of Things in Agriculture // Scientific and Technical Bulletin: Technical Systems in the Agro-Industrial Complex. – 2020. – No. 1(6). – P. 42–47.
7. CLAAS TELEMATICS: The Digital Dimension of Agribusiness // AgroForum. – 2021. – No. 4. – P. 58–59.
8. Barabanov A.V. Structural Modeling of Continuous Multi-Center Polymerization Processes // Automation and Remote Control. – 2012. – Vol. 73, No. 7. – P. 1265–1268.
9. Information and Software-Algorithmic Tools in the Maintenance Process of the Fendt 936 Vario Tractor / R. D. Goncharov, A. D. Isaev, A. A. Altarev [et al.] // Problems and Prospects of Digitalization in the Agro-Industrial Complex: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Saratov,

December 7, 2023. – Saratov: N.I. Vavilov Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering, 2023. – P. 29–34.

10. Goltyapin V. Ya. Analysis of telemetry and monitoring systems for agricultural machinery // Scientific and Information Support for the Innovative Development of the Agro-Industrial Complex: Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference "InformAgro-2017", Pravdinsky settlement, Moscow Region, June 7–9, 2017. – Pravdinsky settlement, Moscow Region: Russian Research Institute of Information and Techno-Economic Studies on Engineering and Technical Support for the Agro-Industrial Complex, 2017. – P. 348–352.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛИЦ ЗА СЧЕТ УТОЧНЕНИЯ
ГРАНИЦ ЗОН ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ**

В.В. Венскийтис

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики,
биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова», г. Саратов, Россия

Аннотация. В статье приводится обоснование необходимости диагностического обеспечения насосных агрегатов применяемых в промышленных теплицах. Показано, что перевод насосных агрегатов на обслуживание и ремонт по фактическому состоянию обеспечит сокращение эксплуатационных затрат и уменьшит время нахождения их на восстановлении. Для перехода на перспективную стратегию обслуживания и ремонта насосов теплиц по фактическому состоянию необходимо решить ряд задач диагностического обеспечения. Установлено, что эффективным диагностическим параметром для контроля центробежных насосов служит среднее квадратическое значение виброскорости, измеряемое на невращающихся частях. Контроль уровня вибрации позволил определить техническое состояние объекта диагностирования и оперативно принять решение о приостановлении эксплуатации насоса для его восстановления.

Ключевые слова: центробежный насос, диагностический параметр, техническое состояние, уровень вибрации, зона вибрационного состояния.

V.V. Venskaitis

Saratov State University of genetics, biotechnology and engineering named
after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

**IMPROVEMENT OF DIAGNOSTIC SUPPORT
FOR CENTRIFUGAL PUMPS
INDUSTRIAL GREENHOUSES DUE TO REFINEMENT
BOUNDARIES OF VIBRATION STATE ZONES**

Abstract. The article provides a justification for the need for diagnostic support of pumping units used in industrial greenhouses. It is shown that the transfer of pumping units to maintenance and repair according to their actual condition will reduce operating costs and reduce their recovery time. In order to switch to a long-term strategy of maintenance and repair of greenhouse pumps according to their actual condition, it is necessary to solve a number of diagnostic tasks. It has been established that the effective diagnostic parameter for monitoring centrifugal pumps

is the average squared value of vibration velocity, measured on non-rotating parts. Vibration level monitoring made it possible to determine the technical condition of the diagnostic facility and promptly make a decision to suspend operation of the pump in order to restore it.

Keywords: centrifugal pump, diagnostic parameter, technical condition, vibration level, vibration condition zone.

Введение. Развитие тепличного овощеводства является одним из приоритетных направлений АПК, производящего для населения свежие овощи во внесезонный период и снижающего зависимость от импорта. В настоящее время на территории России функционирует свыше 340 тепличных хозяйств общей площадью более 3,3 тыс. га. Производство тепличных овощей в 2025 году по сравнению с 2014 годом увеличилось более чем в 2 раза и составляет свыше 1,6 млн тонн [1].

На активный рост и продуктивность культур в теплице, оказывают комплексное влияние следующие основные факторы: микроклимат; освещение; регулярный полив в соответствии с потребностями культуры; сбалансированное питание растений; субстрат и технология выращивания; агротехнические приёмы; защита растений от болезней и вредителей. Соблюдение режима полива в промышленных теплицах существенно влияет на урожайность и качество продукции. При недостатке влаги снижается способность корневой системы растений поглощать элементы питания из грунта или почвы, что приводит к нарушению физиологических процессов, снижению качества и уровня урожайности сельскохозяйственных культур, а следовательно, использованию не в полной мере потенциала сортов [2–4]. Для водоснабжения теплиц из внешних источников, приготовления и подачи питательных растворов (фертигации), подачи воды в системы испарительного охлаждения и увлажнения, заполнения и подпитки системы отопления, промывки магистралей, перекачивания теплоносителя между ёмкостями, подачи воды к теплообменникам или в контуры подогрева грунта и других технологических операциях теплиц применяют центробежные насосы (ЦН). Основой надёжности и экономической эффективности эксплуатации ЦН служит принятая система технического обслуживания и ремонта. Современные промышленные предприятия машиностроения и других отраслей экономики, все чаще внедряют системы непрерывного мониторинга состояния насосного оборудования в рамках концепции Industry 4.0. Эти системы позволяют перейти от реактивного и планово-предупредительного обслуживания к предиктивному техническому обслуживанию, основанному на фактическом состоянии оборудования. Согласно исследованиям, такой подход способен снизить затраты на техническое обслуживание на 25-30% и сократить внеплановые простои оборудования на 70-75% [5].

Для реализации стратегии обслуживания и ремонта по фактическому состоянию насосного оборудования теплиц необходимы средства контроля и эффективные алгоритмы диагностирования. Однако, большинстве средних и мелких тепличных хозяйств с целью экономии средств придерживаются

регламентированной по сроку и содержанию ремонтно-обслуживающих воздействий стратегии. В таких теплицах отсутствует система мониторинга и диагностики оборудования, а следовательно и средства диагностирования, что не позволяет правильно оценивать состояние агрегатов, прогнозировать их остаточный ресурс и принимать оперативные решения относительно подготовки к ремонтам. Вместе с этим, неверный диагноз сопровождается значительными эксплуатационными затратами вследствие ремонта еще работоспособных узлов, или из-за устранения аварийных повреждений в случае пропуска дефекта. В тоже время, большая часть существующих систем диагностики роторных механизмов обладают, как правило, не достаточно высокой, степенью достоверности обнаружения дефектов, высокой стоимостью и требуют адаптации к конкретным производственным условиям [6, 7].

На основании изложенного целью исследования является совершенствование диагностического обеспечения ЦН промышленных теплиц за счет уточнения границ зон вибрационного состояния.

Методика исследований. Изучение диагностических признаков и количественных характеристик диагностических параметров проводили по результатам эксперимента, состоящего из следующих этапов: компоновка измерительной системы, оценка оптимального объема измерений, изучение правил выполнения измерений, сбор диагностической информации и статистическая обработка данных.

Объектами диагностирования (ОД) служили: центробежный консольный насос K45/30 УЗ.1 ТУ 3631-226-05747979-2003; центробежные консольно-моноблочные насосы FANCY FST 32-160/15 и Calpeda NM 25/20B/A работающие в составе электронасосных агрегатов орошения и расворных узлов теплиц. Внешний вид агрегатов представлен на рисунке.



а



б



в

Рисунок. Электронасосные агрегаты на основе насосов:
а – K45/30 УЗ.1; б – FANCY FST 32-160/15; в – Calpeda NM 25/20B/A

Контролируемые насосы функционировали в циклическом режиме характеризуемом временем включения, непрерывной работы и паузы. В светлое время суток (апрель, май 2026 г, световой день $\approx 15-16$ ч) насосы включались системой автоматического управления через каждые 20 мин, и подавали питательный раствор в систему орошения, в течение 40 мин.

В ходе эксперимента измеряли среднее квадратическое значение виброскорости $V_{r.m.s.}$, в стандартном диапазоне частот 10–1000 Гц в двух

ортогональных радиальных направлениях. Измерение проводили анализатором вибрации «Vibro Vision». Сигнал вибрации на измерительный блок поступал с первичного преобразователя сигнала «Vibro Sensor», крепление которого в контрольных точках ЦН осуществлялось специальным магнитом из комплекта анализатора вибрации. Регистрация вибросигнала проводилась с помощью программного обеспечения поставляемого вместе с прибором.

Для стабилизации рабочих параметров объекта диагностирования, перед каждым измерением вибрации выдерживали 10 минут, далее включали режим регистрации вибросигнала и проводили измерение. После останова режима регистрации, считывали значение измеряемого параметра с экрана и записывали в протокол испытаний. С целью повышения достоверности результатов, в каждой контрольной точке и направлении проводили три повторных измерения, по которым определяли среднее значение.

Результаты исследований. Оценку вибрационного состояния контролируемых ЦН проводили путем сравнения измеренных абсолютных значений $V_{r.m.s.}$ с пороговыми значениями, определяющими ограничения на эксплуатацию насосов. Эти ограничения имеют два уровня: ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ и ОСТАНОВ.

Контролируемые насосы по надежности и безопасности эксплуатации относятся к категории II [8], которая включает насосы, применяемые в общетехнических целях. Предельные уровни вибрации при работе насосов в установившемся режиме на номинальной частоте вращения определяют относительно базового значения. Так как априорная информация о наработке и уровне вибрации исследуемых насосов отсутствовала, то уровень ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ задавали в соответствии с рекомендациями стандарта РФ [9] равным 5,1–8,5 мм/с. Уровень ОСТАНОВ принят равным 8,5–10,6 мм/с.

Анализ данных таблицы 1 показывает, что $V_{r.m.s.}$ контролируемой группы однотипных объектов изменяется от 2,5 до 14,0 мм/с. Виброактивность насоса №1 типоразмера К45/30 превысила максимальный уровень ОСТАНОВ на 27–32%, что свидетельствует о высокой вероятности механического повреждения насоса при дальнейшей работе. Превышение этого уровня требует срочной остановки насоса [8].

Контролируемый параметр вибрации насосов №2, №3, №4 достиг зоны вибрационного состояния С, что соответствует уровню ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ. Данный уровень $V_{r.m.s.}$ свидетельствует о непригодности этих насосов для длительной непрерывной работы и необходимости проведения восстановительных работ.

Вибрационное состояние насосов №5, №6 соответствует зоне В, что позволяет считать их пригодными для эксплуатации без ограничения сроков. Параметр вибрации насоса №7 соответствует зоне А, что характерно для вибрации новых насосов.

**Таблица 1 – Результаты контроля вибрационного состояния
центробежных насосов**

Условный порядковый номер насоса	Типоразмер насоса, торговая марка	Среднее квадратическое значение скорости, мм/с (№ контрольной точки)	Зона вибрационного состояния	Ограничения эксплуатации насосов
1	K45/30	11,0 (т.1.1) 14,0 (т.1.2) 13,5 (т.2.1) 12,5 (т.2.2)	<i>D</i>	ОСТАНОВ
2	K45/30	6,0 (т.1.1) 6,8 (т.1.2) 7,3 (т.2.1) 7,6 (т.2.2)	<i>C</i>	ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ
3	K45/30	5,7 (т.1.1) 6,0 (т.1.2) 5,4 (т.2.1) 5,8 (т.2.2)	<i>C</i>	ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ
4	FANCY FST 32- 160/15	6,0 (т.1.1) 5,8 (т.1.2) 5,5 (т.2.1) 5,9 (т.2.2)	<i>C</i>	ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ
5	FANCY FST 32- 160/15	3,3 (т.1.1) 3,5 (т.1.2) 4,0 (т.2.1) 3,7 (т.2.2)	<i>B</i>	Эксплуатация насоса не ограничивается
6	Calpeda NM 25/20B/A	2,8 (т.1.1) 3,2 (т.1.2) 3,6 (т.2.1) 3,4 (т.2.2)	<i>B</i>	Эксплуатация насоса не ограничивается
7	Calpeda NM 25/20B/A	2,5 (т.1.1) 2,8 (т.1.2) 3,0 (т.2.1) 3,1 (т.2.2)	<i>A</i>	Эксплуатация насоса не ограничивается

Закключение. Таким образом, измерения общего уровня вибрации на корпусах подшипников группы насосов в двух ортогональных радиальных направлениях позволили выявить сильно развитый дефект. Дальнейшее применение насоса №1 с таким дефектом не допустимо, так как может привести к аварии. Насосы №2, №3, №4 непригодны для длительной непрерывной работы и нуждаются в проведении технического обслуживания или текущего ремонта.

Применение $v_{r.m.s}$ в качестве диагностического параметра удобно для оперативного контроля состояния машин и оборудования, так как не требует углублённой подготовки по вибродиагностике, даёт одно числовое значение которое легко сравнивать с нормами. Регулярные замеры $v_{r.m.s}$ позволяют отслеживать динамику изменения вибрационного состояния. В тоже время, для

$V_{r.m.s}$ характерны: низкая чувствительность к ранним дефектам, параметр не позволяет определить тип дефекта, малоинформативен для насосов с частотой вращения ниже 600 об/мин и др. Для разработки системы мониторинга и диагностики насосов теплиц $V_{r.m.s}$ может быть применен как базовый параметр для решения следующих задач: контроля общего состояния насосов и фиксации тренда ухудшения вибрационного состояния; обоснования плановых остановок на ремонт, чтобы не превышать допустимое время простоя; встраивания в регламент мониторинга с чёткими порогами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Господдержка тепличного овощеводства сохраняется на высоком уровне // Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. URL: <http://www.mcx.gov.ru>
2. Медведев И.Ф. Динамика развития корневой системы яровой пшеницы в условиях активного проявления засух и различной обеспеченности элементами питания растений / И.Ф. Медведев, Ф.В. Сиренко, В.И. Ефимова, С.С. Деревягин // Достижения науки и техники АПК. 2013. № 8. С. 6–10.
3. Киселева Т.С. Запасы доступной влаги при возделывании нута в северной лесостепи Тюменской области / Т.С. Киселева, В.В. Рзаева // Аграрный вестник Урала. 2019. № 9 (188). С. 2–7.
4. Сазонова Т.А. Влияние почвенных условий среднетаежного сосняка лишайникового на рост и показатели минерального и водного режима сосны обыкновенной / Т.А. Сазонова, В.Б. Придача // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2020. № 11. С. 113–123.
5. Системы мониторинга состояния насосов в реальном времени. URL: <https://inner.su/articles/sistemy-monitoringa-sostoyaniya-nasosov-v-realnom-vremeni/?ysclid=mqnly64bzh75020330>
6. Перовошиков С.И. Разработка научных основ управления вибрацией гидродинамического происхождения в центробежных насосах магистральных нефтепроводов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.13 / Перовошиков Сергей Иванович. – Тюмень, 2004. – 48 с.
7. Гареев, Р.Р. Совершенствование методов оценки технического состояния насосного и вентиляционного оборудования на установках комплексной подготовки газа: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13 / Гареев Рустэм Рашитовнч. – Уфа, 2014. – 24 с.
8. ГОСТ Р 55265.7–2012. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Ч.7. Насосы динамические промышленные. – Введ. 2013–12–01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 19 с.

REFERENCES

1. State support for greenhouse vegetable growing remains at a high level // Ministry of Agriculture of the Russian Federation. URL: <http://www.mcx.gov.ru>
2. Medvedev I.F., Sirenko F.V., Efimova V.I., Derevyagin S.S. Dynamics of development of the root system of spring wheat in conditions of active manifestation of droughts and various availability of plant nutrition elements. // Achievements of science and technology of the Agroindustrial complex. 2013. No. 8. pp. 6-10.
3. Kiseleva T.S. Reserves of available moisture during chickpea cultivation in the northern forest-steppe of the Tyumen region / T.S. Kiseleva, V.V. Rzaeva // Agrarian Bulletin of the Urals. 2019. No. 9 (188). pp. 2-7.
4. Sazonova T.A. The influence of soil conditions of the Middle taiga lichen pine on the growth and indicators of the mineral and water regime of the common pine / T.A. Sazonova, V.B. Pridacha // Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2020. No. 11. pp. 113-123.
5. Real-time pump health monitoring systems. URL: <https://inner.su/articles/sistemy-monitoringa-sostoyaniya-nasosov-v-realnom-vremeni/?ysclid=mqnly64bzh75020330>
6. Perevoshchikov S.I. Development of scientific foundations of vibration control of hydrodynamic origin in centrifugal pumps of main oil pipelines: abstract of the dissertation. ... Doctor of Technical Sciences: 02/05/13 / Sergey Ivanovich Perevoshchikov. – Tyumen, 2004. – 48 p.
7. Gareev, R.R. Improvement of methods for assessing the technical condition of pumping and ventilation equipment at integrated gas treatment plants: abstract of the dissertation. ... Candidate of Technical Sciences: 02/05/13 / Gareev Rustem Rashitovich. Ufa, 2014. – 24 p.
8. GOST R 55265.7–2012. Vibration. Monitoring of the condition of machines based on the results of vibration measurements on non-rotating parts. Part 7. Dynamic industrial pumps. – Introduction. 2013-12-01. Moscow: Standartinform, 2014. – 19 p.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ГУСЕНИЧНОГО ТРАКТОРА С ГИДРОСТАТИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ

Ю.А. Коцарь, О.В. Кабанов, Е.О. Кабанов

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация. В статье рассматривается концепция интеллектуальной системы управления для гусеничного трактора с гидростатической трансмиссией (ГСТ) — перспективного решения для автоматизации сельскохозяйственных работ. Освещены ключевые технологические компоненты системы.

Ключевые слова: интеллектуальная система управления; гусеничный трактор; гидростатическая трансмиссия (ГСТ); точное земледелие; автономное вождение, адаптивное управление; буксование; оптимизация мощности.

Original article

INTELLIGENT CONTROL SYSTEM FOR A CATERPILLAR Tractor WITH HYDROSTATIC TRANSMISSION

Y.A. Kotsar, O.V. Kabanov, E.O. Kabanov

Saratov State University of Genetics. Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov. Saratov. Russia.

Abstract. The article discusses the concept of an intelligent control system for a tracked tractor with a hydrostatic transmission (HT), a promising solution for agricultural automation. The key technological components of the system are highlighted.

Keywords: intelligent control system; tracked tractor; hydrostatic transmission (HT); precision farming; autonomous driving, adaptive control; slipping; power optimization.

Современное сельское хозяйство развивается в сторону автономизации и повышения точности выполнения технологических операций. Увеличивающиеся требования к эффективности, экологичности и экономичности аграрного производства стимулируют внедрение передовых технологий. Одним из наиболее перспективных направлений в этой области является разработка интеллектуальных систем управления для гусеничных тракторов с гидростатической трансмиссией (ГСТ). Подобные системы позволяют существенно снизить зависимость от человеческого фактора, повысить точность обработки полей и сократить расход топлива — что в

совокупности ведёт к росту общей эффективности сельскохозяйственных работ и снижению себестоимости продукции.

Ключевым элементом автономного вождения выступает точное позиционирование. В современных системах для этой цели применяются многочастотные GNSS приёмники (L1, L2, L5) с поддержкой RTK, которые обеспечивают точность на уровне 1–2 см. Такая точность достигается за счёт коррекции сигналов в реальном времени с помощью базовой станции, которая передаёт дифференциальные поправки на мобильный приёмник. Частота обновления данных может достигать 100 Гц (например, в приёмнике NovAtel OEM7). Это позволяет трактору точно следовать заданному маршруту даже на повышенных скоростях.

Подтверждением возможностей таких решений служит система John Deere StarFire 6000: она предоставляет точность ± 2 см при движении трактора со скоростью до 12 км/ч. Такая точность необходима для выполнения агротехнических операций: при посеве она позволяет избежать пропусков и перекрытий, при внесении удобрений — обеспечить равномерное распределение по полю, а при обработке междурядий — снизить вероятность повреждения культурных растений.

Однако в условиях плохого сигнала GNSS — в случаях естественных и искусственных препятствий или помех для сигнала — требуется задействовать альтернативные технологии. В таких ситуациях используются лидары, такие как Ouster OS1 64, сканирующие окружение с точностью до 1 см на расстоянии до 120 м. Эти устройства создают детальное трёхмерное облако точек, отражающее текущее состояние окружающей среды. Стереокамеры Intel RealSense D455 позволяют создавать 3D карту местности, оценивая глубину и форму препятствий. Инерциальные датчики (IMU) компенсируют потерю сигнала на 30–60 секунд, отслеживая угловые скорости и линейные ускорения трактора.

Для непрерывной навигации в этих условиях применяются алгоритмы SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), в частности ORB SLAM3, способные обрабатывать до 100000 точек в секунду. Эти алгоритмы одновременно определяют местоположение трактора в пространстве и строят карту окружающей среды, что позволяет машине продолжать движение даже при полной потере спутникового сигнала. Комбинация лидара, камер и IMU создаёт избыточную систему навигации, повышая надёжность и безопасность автономной работы.

Управление гидростатической трансмиссией требует надёжной системы датчиков и обратной связи. В частности, датчики давления Danfoss MBS 3200 с точностью $\pm 0,25\%$ контролируют давление в гидросистеме, предоставляя данные для точной регулировки. Расходомеры Parker P3F отслеживают расход жидкости в диапазоне 5–100 л/мин, позволяя оптимизировать работу гидронасоса. Температурные сенсоры PT100 следят за состоянием гидравлической жидкости, предотвращая перегрев и преждевременный износ компонентов.

На основе данных с этих датчиков система адаптивно регулирует работу трансмиссии:

- корректирует давление в гидромоторах в зависимости от нагрузки — например, снижает его на рыхлых почвах для предотвращения пробуксовки;
- подстраивает скорость движения при изменении рельефа — замедляет трактор на подъёмах и ускоряет на спусках для поддержания оптимальной производительности;
- оптимизирует мощность двигателя для минимизации пробуксовки, анализируя разницу скоростей вращения гусениц.

В качестве примера можно привести простой PID регулятор, который снижает давление на 15 % при обнаружении пробуксовки свыше 15 %. Более сложные алгоритмы могут учитывать дополнительные факторы: тип почвы, влажность, нагрузку на навесное оборудование и даже прогноз погоды.

Для повышения автономности без глубокой модификации существующей гидравлики, существуют готовые Plug and Play решения, такие как FJD AH2. Они позволяют интегрировать автопилот, сохраняя возможность ручного управления — что особенно важно на этапе перехода к новым технологиям. Такие системы подключаются к стандартным гидравлическим линиям и электронным интерфейсам, не требуя замены компонентов трансмиссии.

Бортовая электроника современных автономных тракторов строится вокруг мощных вычислительных модулей. В качестве главного контроллера выступают ведущие производители подобных систем, например, NVIDIA Jetson AGX Orin, с производительностью 32 TOPS, достаточной для выполнения задач искусственного интеллекта в реальном времени. Этот модуль обрабатывает данные с камер, лидаров и навигационных систем, запускает алгоритмы планирования маршрута и управления движением.

В роли резервного модуля может использоваться Raspberry Pi CM4 с операционной системой реального времени. Он выполняет задачи мониторинга состояния системы, аварийного отключения и ручного управления в случае сбоя основного контроллера. Обмен данными между компонентами осуществляется по шине CAN FD со скоростью 5 Мбит/с с использованием протокола J1939. Этот стандарт обеспечивает надёжную передачу данных даже в условиях электромагнитных помех, типичных для сельскохозяйственной техники с использованием современных агрокомплексов.

Программное обеспечение базируется на платформе ROS 2 Galactic, которая предлагает готовые инструменты для навигации (nav2) и управления (ros2_control). Модульная архитектура ROS позволяет добавлять новые функции и встраивать дополнительные датчики. Безопасность данных обеспечивается шифрованием AES 256 и модулем доверенной платформы TPM 2.0, который защищает от несанкционированного доступа и модификации программного обеспечения.

Взаимодействие оператора с системой реализуется через человеко-машинный интерфейс (HMI). Сенсорные панели, подобные Trimble GFX 350, отображают карты, параметры движения и настройки, позволяя оператору контролировать процесс в режиме реального времени. На экране видны

текущий маршрут, положение трактора на поле, состояние датчиков, расход топлива и другие ключевые показатели.

В перспективе развитие HMI может пойти по пути внедрения голосового управления на базе технологий NLP (как в решениях John Deere AI), что позволит оператору отдавать команды без отвлечения от наблюдения за работой оборудования. Дополненная реальность (AR) даст новые возможности визуализации: оператор сможет видеть виртуальные маркеры на поле через очки или дисплей кабины, отмечающие границы участков, зоны внесения удобрений или места препятствий.

Практические испытания подтверждают эффективность таких систем. Например, автопилот для трактора Challenger MT775E показал точность $\pm 2,5$ см и позволил сократить расход топлива на 12–15 %. При этом в процессе тестирования были выявлены и решены ряд характерных проблем:

1) Потеря сигнала GNSS компенсировалась комбинацией лидара, камер и IMU, что обеспечило непрерывную навигацию даже в лесу или овраге.

2) Перегрев гидравлики предотвращался за счёт датчиков температуры и алгоритмов охлаждения: система автоматически снижала нагрузку или включала дополнительные вентиляторы при достижении критических значений.

3) Киберугрозы нейтрализовались применением TPM 2.0 и регулярных обновлений программного обеспечения, что защитило систему от взлома и несанкционированного вмешательства.

На сегодняшний день интеллектуальные системы управления для гусеничных тракторов с ГСТ уже способны обеспечить точность вождения $\pm 1-3$ см, снизить расход топлива до 15 % и полностью интегрироваться с существующей гидравликой. Экономический эффект от внедрения таких систем складывается из нескольких факторов:

- экономии топлива за счёт оптимизации режимов работы двигателя и трансмиссии, а также оптимизации и согласования тягово-сцепных свойств машины;
- сокращения времени простоя из-за уменьшения числа ошибок оператора;
- повышения урожайности благодаря точному выполнению агротехнических операций;
- снижения износа техники за счёт плавного управления и предотвращения перегрузок.

В ближайшие годы ожидается дальнейшее развитие этой технологии:

- Внедрение сетей 5G для удалённого мониторинга позволит операторам контролировать несколько тракторов одновременно, получая данные в режиме реального времени и вмешиваясь только в критических ситуациях.
- Использование swarm-алгоритмов для группового управления техникой даст возможность координировать работу целого парка машин, распределяя задачи и оптимизируя маршруты для максимальной производительности.

- Снижение размеров компонентов сделает автономные решения более доступными, снизив их стоимость и энергопотребление.
- Интеграция с IoT платформами позволит тракторам обмениваться данными с другими устройствами на ферме: метеостанциями, системами полива и хранилищами удобрений.

Всё это позволяет предположить, что полностью автономный трактор, готовый к коммерческому использованию, может появиться уже в ближайшие несколько лет. Такие машины станут основой «умного» сельского хозяйства, где техника работает согласованно, данные анализируются в реальном времени, а решения принимаются на основе искусственного интеллекта. Это не только повысит эффективность аграрного производства, но и сделает его более экологичным и устойчивым в долгосрочной перспективе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шило И. Н., Толочко Н. К., Нукешев С. О. и др. Умная сельскохозяйственная техника: учебное пособие. - Астана: Издательство КазАТУ им. С. Сейфуллина, 2018. - 174 с.
2. Якушев, В.В. Точное земледелие: теория и практика: [монография] / Якушев В. В.; Федеральное гос. бюджетное науч. учреждение Агрофиз. науч.-исслед. ин-т. – Санкт-Петербург: ФГБНУ АФИ, 2016. - 363 с.
3. Лопачёв, Н. А. Основы построения прецизионных систем земледелия [Электронный ресурс] / Лопачёв Н.А., Ковалёва Е.В. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 120 с.
4. Труфляк, Е. В. Техническое обеспечение точного земледелия. Лабораторный практикум [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов / Труфляк Е.В., Трубилин Е. И.; Трубилин Е. И. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 172 с.
5. Самаева Е. В., Эвиева Б. Э., Эрдниева Э. В. Применение искусственного интеллекта в устойчивом сельском хозяйстве и точном земледелии // Экономическая политика и финансовые ресурсы. 2025. Т. 4, № 3. С. 10–18.
6. Кондаков, С. В. Автоматическое управление движением гусеничной машины с интеллектуальной гидростатической трансмиссией при целеуказании в координатах GPS / С. В. Кондаков, Н. В. Дубровский. - (Теория, конструирование, испытания). - Текст: непосредственный // Тракторы и сельхозмашины. - 2018. - № 2. - С. 34-40
7. Жданович Ч. И. «Бесступенчатая двухпоточная гидрообъемно-механическая трансмиссия гусеничного трактора» // Наука и техника. 2024. Т. 23, №3. С. 251–260.
8. Смирнов, Ю. А. Основы автоматизации сельскохозяйственных машин: учебное пособие для вузов / Смирнов Ю. А. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 612 с.

REFERENCES

1. Shilo I. N., Tolochko N. K., Nukeshev S. O., et al. Smart Agricultural Machinery: A Textbook. – Astana: S. Seifullin KazATU Publishing House, 2018. – 174 p.
2. Yakushev V. V. Precision Agriculture: Theory and Practice: [Monograph] / Yakushev V. V.; Federal State Budgetary Scientific Institution "Agrophysical Research Institute." – Saint Petersburg: FGBNU AFI, 2016. – 363 p.
3. Lopachev N. A. Fundamentals of Designing Precision Farming Systems [Electronic Resource] / Lopachev N. A., Kovaleva E. V. – Saint Petersburg: Lan, 2022. – 120 p.
4. Trufliak, E. V. Technical Support for Precision Agriculture: Laboratory Practicum [Electronic Resource]: A Textbook for Higher Education Institutions / E. V. Trufliak, E. I. Trubilin; E. I. Trubilin. — 3rd ed., unaltered. – Saint Petersburg: Lan, 2023. — 172 p.
5. Samaeva, E. V., Evieva, B. E., Erdnieva, E. V. Application of Artificial Intelligence in Sustainable Agriculture and Precision Farming // Economic Policy and Financial Resources. 2025. Vol. 4, No. 3. P. 10–18.
6. Kondakov, S. V. Automatic Motion Control of a Tracked Vehicle with an Intelligent Hydrostatic Transmission Based on GPS Coordinate Target Designation / S. V. Kondakov, N. V. Dubrovsky. — (Theory, Design, Testing). — Text: direct // Tractors and Agricultural Machinery. — 2018. — No. 2. — P. 34–40.

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Научная статья

УДК 621.432/004.932

КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ХРОМАТОГРАММ МОТОРНОГО МАСЛА ЛУКОЙЛ АВАНГАРД 10W-40 В ЦВЕТОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ HSV

В.К. Корнеева, В.М. Капцевич, Е.И. Селицкий, И.С. Королец

Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск,
Республика Беларусь

Аннотация: работа посвящена разработке метода экспресс-диагностики моторного масла на основе анализа хроматограмм *Blotter Spot* в цветовом пространстве HSV с помощью плагина *Color Inspector 3D* программы *ImageJ*. По полученным параметрам *H*, *S*, *V* для моторного масла Лукойл Авангард 10W-40 установлены три стадии его деградации.

Ключевые слова: моторное масло, экспресс-диагностика, метод *Blotter Spot*, цветовое пространство HSV, *Color Inspector 3D*, *ImageJ*, деградация масла.

Original article

COLORIMETRIC ANALYSIS OF LUKOIL AVANGARD 10W-40 MOTOR OIL CHROMATOGRAMS IN HSV COLOR SPACE

V.K. Korneeva, V.M. Kapitsevich, E.I. Selitsky, I.S. Korolec

Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract: This work is devoted to the development of a method for rapid diagnostics of motor oil based on the analysis of Blotter Spot chromatograms in HSV color space using the Color Inspector 3D plugin of ImageJ. Based on the obtained H, S, and V parameters for Lukoil Avangard 10 W-40 motor oil, three degradation stages were identified.

Keywords: motor oil, express diagnostics, Blotter Spot method, HSV color space, Color Inspector 3D, ImageJ, oil degradation.

Введение. Экспресс-диагностика технического состояния моторных масел является важной задачей технического обслуживания двигателей внутреннего сгорания. Своевременное выявление степени деградации масла позволяет предотвратить преждевременный износ деталей двигателя, снизить расходы на ремонт и обеспечить надежную работу техники [1].

Метод капельной пробы (*Blotter Spot*) основан на капиллярной хроматографии моторного масла на фильтровальной бумаге [2]. При нанесении капли масла происходит ее растекание с образованием характерных кольцевых зон: ядра, содержащего тяжелые продукты деградации, и диффузионной зоны с более мелкими частицами.

Среди современных методов экспресс-анализа особое место занимает колориметрический анализ [3], основанный на измерении цветовых характеристик объектов исследования. Такой подход при анализе хроматограмм позволяет количественно оценить степень деградации масла без использования дорогостоящего оборудования. Визуальная оценка масляного пятна давно применяется для определения состояния масла, однако субъективность восприятия цвета ограничивает точность диагностики. Применение инструментальных методов измерения цвета позволяет объективизировать результаты анализа и обеспечить воспроизводимость данных.

Целью настоящей работы является установление количественных критериев оценки степени деградации моторного масла по параметрам *HSV* хроматограмм *Blotter Spot* с использованием методов компьютерного зрения.

Материалы и методы. В качестве объекта исследований выбирались цифровые изображения хроматограмм моторных масел Лукойл Авангард 10W-40 с наработкой 33, 88, 185 и 250 ч, отобранных из картера ДВС Д-260.4S2 трактора Беларусь 2022.3 при проведении весенних полевых работ.

Колориметрический анализ в цветовом пространстве *HSV* выполнялся в программном комплексе *ImageJ* [4] с использованием плагина *Color Inspector 3D* [5, 6]. Данный плагин позволяет проводить измерения в различных цветовых пространствах (*RGB*, *HSV*, *Lab* и др.). В настоящей работе использовалось цветовое пространство *HSV* благодаря его устойчивости к изменениям яркости и возможности селективного анализа пикселей по оттенку без искажающего влияния градиентов освещения, характерного, например, для пространства *RGB*. В цветовом пространстве *HSV* любой цвет задается точкой с координатами базовых параметров: цветовой тон *H* – от 0° (красный цвет) через все цвета видимого спектра до 360° (красный); насыщенность *S* – от 0 % до 100 %; яркость *V* – от 0 % до 100 %.

Для каждой хроматограммы моторного масла с различной наработкой проводились измерения в цветовых координатах *HSV* для ядра, диффузионной зоны и всего масляного пятна. Для обеспечения статистической достоверности средних значений измерения проводились при помощи инструмента выделения области интереса, площадью не менее 500 пикселей. Кроме получения численных значений цветовых координат плагин позволяет визуализировать выделенную область в пространстве *HSV*. Пример интерфейса плагина *Color Inspector 3D* для определения цветовых координат ядра и диффузионной зоны в пространстве *HSV* представлен на рисунке.

Результаты исследований. В таблице представлены результаты измерений цветовых координат H , S , V в зонах масляного пятна для образцов с различной наработкой, а также их изменение Δ в процессе эксплуатации.

Анализ полученных результатов (таблица) показывает следующее. Цветовой тон H ядра масляного пятна уменьшается с 51° при наработке 33 ч до 44° при 250 ч. Это соответствует смещению цвета от желто-оранжевого (51°) к более коричневому (44°). Данное изменение обусловлено накоплением продуктов термического окисления, имеющих интенсивную коричневую окраску.

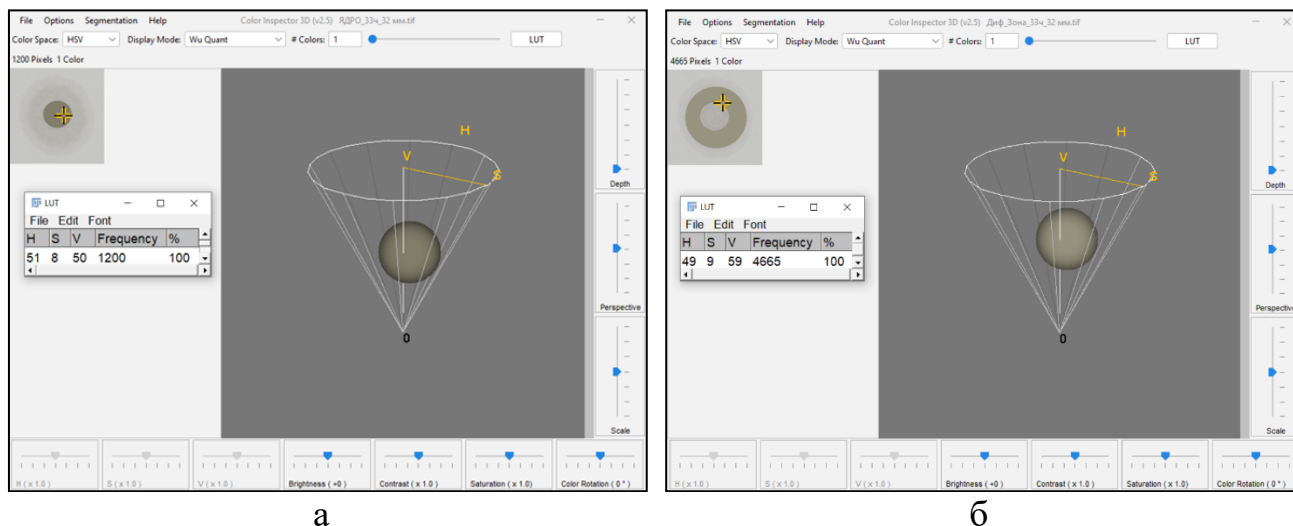


Рисунок. Интерфейса плагина Color Inspector 3D для определения цветовых координат ядра (а) и диффузионной зоны (б) в пространстве HSV

Таблица – Результаты измерений цветовых координат HSV

Зона	Координаты	Наработка, ч				Δ , %
		33 ч	88 ч	185 ч	250 ч	
Ядро	H , град.	51	44	43	44	-14
	S , %	8	8	8	9	+12
	V , %	50	34	34	35	-30
Диффузионная зона	H , град.	49	46	43	43	-12
	S , %	9	10	10	10	+11
	V , %	59	50	45	44	-25
Масляное пятно	H , град.	49	42	48	45	-8
	S , %	8	10	9	9	+12
	V , %	57	49	44	41	-28

Аналогичная тенденция наблюдается в диффузионной зоне: H снижается с 49° до 43° . Меньшая интенсивность изменений в диффузионной зоне объясняется тем, что периферийные области содержат меньше тяжелых продуктов деградации.

Насыщенность S во всех зонах незначительно увеличивается (на 11–12 %) при увеличении наработки. Это связано с тем, что продукты

деградации имеют более интенсивную окраску по сравнению с базовым маслом. Однако абсолютные значения S остаются низкими (8–10 %), что характерно для масляных пятен.

Стабильность параметра S позволяет использовать его как дополнительный показатель для подтверждения диагноза.

Наиболее информативным параметром в пространстве HSV является координата V (яркость). Яркость ядра снижается на 30 % (с 50 % до 35 %) при увеличении наработки. Аналогичная тенденция наблюдается в диффузионной зоне (снижение на 25 %) и общем масляном пятне (снижение на 28 %).

Снижение V обусловлено накоплением сажи и других поглощающих свет частиц, что приводит к визуальному потемнению масляного пятна.

Изменение параметров HSV при деградации моторного масла отражает следующие физико-химические процессы.

Снижение цветового тона H в ядре с 51° до 44° свидетельствует о накоплении продуктов термического окисления (спирты, кетоны, альдегиды, карбоновые кислоты), имеющих желто-коричневую окраску, а также образовании конденсированных ароматических углеводородов и появлении продуктов полимеризации и олигомеризации.

Незначительное увеличение насыщенности S на 12 % связано с образованием продуктов деградации, имеющих более интенсивную окраску по сравнению с базовым маслом, и насыщением масляной пленки пигментированными частицами (сажа, оксиды металлов).

Снижение значения V в ядре на 30 % обусловлено накоплением сажи, интенсивно поглощающей свет, увеличением концентрации коллоидных частиц продуктов окисления и появлением металлических частиц износа (оксиды железа, меди, хрома).

Анализ полученных данных позволяет выделить три стадии деградации моторного масла по параметрам HSV .

Первая стадия (33–88 ч): интенсивное изменение параметров V и H . Характеризуется активным накоплением продуктов деградации.

Вторая стадия (88–185 ч): замедление изменений. Темпы деградации замедляются, что может быть связано с достижением квазиравновесного состояния.

Третья стадия (185–250 ч): стабилизация параметров. Наблюдается незначительное увеличение V и H , что может быть обусловлено выходом на режим «насыщения» или особенностями противозадирных присадок масла.

Заключение. Предложен метод экспресс-диагностики моторного масла на основе анализа хроматограмм *Blotter Spot* в цветовом пространстве HSV . По полученным параметрам HSV для моторного масла Лукойл Авангард 10 W-40 установлены три стадии его деградации. Значимость метода заключается в возможности оперативной оценки состояния моторного масла в полевых условиях с использованием доступного программного обеспечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капцевич, В.М. Экспресс-методы контроля свойств моторного масла автотракторных двигателей внутреннего сгорания в условиях организаций агропромышленного комплекса / В.М. Капцевич [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2023. – 120 с.
2. Standard Test Method for Measuring the Merit of Dispersancy of In-Service Engine Oils with Blotter Spot Method: ASTM D7899-19. – ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019. – 7 p.
3. Корнеева, В.К. Методы оценки экспериментальных результатов экспресс-тестирования моторных масел, основанные на использовании программного комплекса *ImageJ*. Часть 2. Цветовые модели и возможности их применения при колориметрических методах / В.К. Корнеева, В.М. Капцевич, В.В. Остриков // Агропанорама. – 2025. – № 1. – с. 29-36.
4. Ferreira, T. ImageJ user guide / Fiji 1.46 / T. Ferreira, W. Rasband. – 2012. – 198 p.
5. Barthel, K.U. 3D-Data Representation with ImageJ / K.U. Barthel // ImageJ Conference, 2006. – Luxembourg: Luxembourg Institute of Science and Technology, 2006. – 215458973.
6. Muljosumarto, C. A Case Study Color as a Visual Language: Focused on TV Commercial / C. Muljosumarto // NIRMANA. – 2017. – Vol. 17. – № 1, Januari. – P. 1-9.

REFERENCES

1. Kaptsevich, V.M. Express methods for monitoring the properties of motor oil of automotive and tractor internal combustion engines in the conditions of agro-industrial complex organizations / V.M. Kaptsevich [et al.]. – Minsk: BSATU, 2023. – 120 p.
2. Standard Test Method for Measuring the Merit of Dispersancy of In-Service Engine Oils with Blotter Spot Method: ASTM D7899-19. – ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019. – 7 p.
3. Korneeva, V.K. Methods for evaluating the experimental results of express testing of motor oils based on the use of the ImageJ software package. Part 2. Color models and the possibilities of their application in colorimetric methods / V.K. Korneeva, V.M. Kaptsevich, V.V. Ostrikov // Agropanorama. – 2025. – No. 1. – p. 29-36.
4. Ferreira, T. ImageJ user guide / Fiji 1.46 / T. Ferreira, W. Rasband. – 2012. – 198 p.
5. Barthel, K.U. 3D-Data Representation with ImageJ / K.U. Barthel // ImageJ Conference, 2006. – Luxembourg: Luxembourg Institute of Science and Technology, 2006. – 215458973.
6. Muljosumarto, C. A Case Study Color as a Visual Language: Focused on TV Commercial / C. Muljosumarto // NIRMANA. – 2017. – Vol. 17. – No. 1, Januari. – P. 1-

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОТОРНЫХ МАСЕЛ ПОД ДЕЙСТВИЕМ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПОРОШКООБРАЗНЫХ ДОБАВОК

***В.В. Сафонов, Д.В. Курдюков, К.В. Сафонов, В.Р. Феденко,
В.О. Пыхтеев, А.С. Чернышов***

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация: Надежность современных автотракторных двигателей во многом зависит от качества моторного масла, которое определяется количеством и качеством вводимых в него функциональных присадок. Кроме маслорастворимых присадок к моторным маслам широкое применение имеют порошкообразные добавки они отличаются высокими трибологическими свойствами и способствуют образованию стабильной поверхностной пленки на трущихся поверхностях деталей. Для определения влияния этих добавок на изменение физико-химических свойств моторных масел была разработана методика и проведены исследования. В процессе проведения исследований оценивали влияние порошкообразных компонентов добавки на вязкость, щелочное и кислотное числа моторного масла, а также на содержание механических примесей в нем. Для проведения данных исследований в лабораторных условиях в моторное масло Лукойл 15W-40 вносили добавку в концентрации по массе от 0,1 до 0,3 %. В целом по результатам лабораторных исследований не установлено существенных изменений физико-химических свойств базового масла под действием разработанной порошкообразной добавки, свидетельствующих о возможном снижении его срока службы в процессе работы ДВС.

Ключевые слова: моторное масло, физико-химические свойства, порошкообразная, вязкость, щелочное число, кислотное число, механические примеси.

Original article

METHODS AND RESULTS OF RESEARCH ON CHANGES IN THE PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF MOTOR OILS UNDER THE INFLUENCE OF NANOSIZED POWDER ADDITIVES

V.V. Safonov, D.V. Kurdyukov, K.V. Safonov, V.R. Fedenko, V.O. Pykhiteev, A.S. Chernyshov

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering
named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Abstract: The reliability of modern automotive and tractor engines largely depends on the quality of the engine oil, which is determined by the composition and quality of the functional additives added to it. In addition to oil-soluble additives, powdered additives are widely used in engine oils. These additives have high tribological properties and help to form a stable surface film on the rubbing surfaces of the parts. To determine the effect of these additives on the physical and chemical properties of engine oils, a methodology was developed and research was conducted. During the research, the effect of the powder-like additives on the viscosity, alkaline and acid numbers of the engine oil, as well as on the content of mechanical impurities in it, was evaluated. To conduct these studies in laboratory conditions, the additive was added to the Lukoil 15W-40 engine oil at a mass concentration of 0.1 to 0.3%. In general, the results of laboratory studies did not reveal any significant changes in the physical and chemical properties of the base oil under the influence of the developed powdered additive, which would indicate a possible decrease in its service life during the operation of the internal combustion engine.

Keywords: engine oil, physical and chemical properties, powdered, viscosity, alkaline number, acid number, mechanical impurities.

Введение. Надежность современных автотракторных двигателей во многом зависит от качества моторного масла. Оно должно обеспечивать защиту деталей двигателя от износа, образуя защитные пленки на их поверхностях.

Увеличение нагрузок при работе современных двигателей требует более высокого качества моторного масла.

Современные моторные масла для смазки деталей двигателей представляют собой сложные смеси углеводородов, их производных и различных присадок или добавок с уникальными функциональными свойствами.

Поскольку мощность современных двигателей непрерывно растет, то и моторные масла должны обладать более высокими эксплуатационными свойствами, которые определяются количеством и качеством присадочных композиций. В современных условиях наблюдается тенденция дальнейшего увеличения концентрации присадок в маслах [1, 2].

Кроме маслорастворимых присадок к моторным маслам широкое применение имеют порошкообразные добавки они отличаются высокими трибологическими свойствами и способствуют образованию стабильной поверхностной пленки на трущихся поверхностях деталей [3, 4, 5, 6].

Методика исследований. Для определения влияния этих добавок на изменение физико-химических свойств моторных масел была разработана методика и проведены исследования.

В процессе проведения исследований оценивали влияние порошкообразных компонентов добавки на вязкость, щелочное и кислотное числа моторного масла, а также на содержание механических примесей в нем.

Физико-химический анализ образцов моторного масла Лукойл 15W-40 с добавкой и без нее проводили в лабораторных условиях по известным методикам и в соответствии с ГОСТами [7, 8, 9, 10].

Оценку физико-химических свойств проб проводили следующим образом. Первоначально оценке подвергали товарное моторное масло Лукойл 15W-40, затем – смазочную композицию, состоящую из смеси товарного моторного масла Лукойл 15W-40 и порошкообразной добавкой «Кластер». Добавка «Кластер» представляет собой смесь нанодисперсного порошка сплава латуни легированного серой и фосфором, определенного количества олеиновой кислоты и базового масла [11,12].

Существует определенная взаимосвязь изменения щелочного числа масла и некоторых параметров работы двигателя, зависящих от его технического состояния. Например, при значительном износе деталей цилиндропоршневой группы ДВС растет их температура, что приводит к увеличению угара моторного масла, а также содержащихся в нем присадок и добавок. Нарушается обычная закономерность изменения щелочного числа моторного масла в зависимости от наработки ДВС.

Кислотное число, как правило, увеличивается при накоплении продуктов окисления в базовом масле. При этом следует учитывать, что кислотное число исходного масла зависит от состава и количества присадок и добавок в нем.

При использовании металлосодержащих добавок важными моментами являются определение содержания механических примесей в масле после добавления в него предлагаемой добавки, а также оценка влияния, предлагаемого трибопрепарата на изменение интенсивности изнашивания деталей двигателя.

При определении эффективности предлагаемой добавки к моторному маслу немаловажным фактором является оценка влияния ее состава на физико-химические характеристики базового масла, что в конечном итоге скажется положительным или отрицательным образом на эксплуатационных характеристиках двигателя и сроке службы масла.

Для проведения данных исследований в лабораторных условиях в моторное масло Лукойл 15W-40 вносили добавку в концентрации по массе от 0,1 до 0,3 %. Смесь нагревали до температуры 80 ± 5 °C и перемешивали в течение 10 мин лабораторной мешалкой.

Сначала определяли изменение вязкости базового моторного масла Лукойл 15W-40 в зависимости от концентрации предлагаемой добавки. Затем оценивали влияние предлагаемой добавки на изменение щелочного и кислотного чисел моторного масла Лукойл 15W-40. Далее определяли изменения содержания механических примесей в масле от концентрации добавки «Кластер».

Результаты исследований. Результаты замеров изменения вязкости базового моторного масла Лукойл 15W-40 в зависимости от концентрации предлагаемой добавки представлены на рисунке 1.

Установлено, что внесение порошкообразной добавки в базовое моторное масло Лукойл 15W-40 практически не изменяет его вязкость кинематическую. Исходное значение этого показателя составило $12,9 \text{ мм}^2/\text{с}$, а после внесения 0,3 % добавки он увеличился всего на $0,2 \text{ мм}^2/\text{с}$ и достиг $13,1 \text{ мм}^2/\text{с}$.

В результате оценки влияния предлагаемой добавки на изменение щелочного и кислотного чисел моторного масла Лукойл 15W-40 было установлено, что внесение предлагаемого трибопрепарата в базовое моторное масло не влияет эти показатели (рисунок 2).

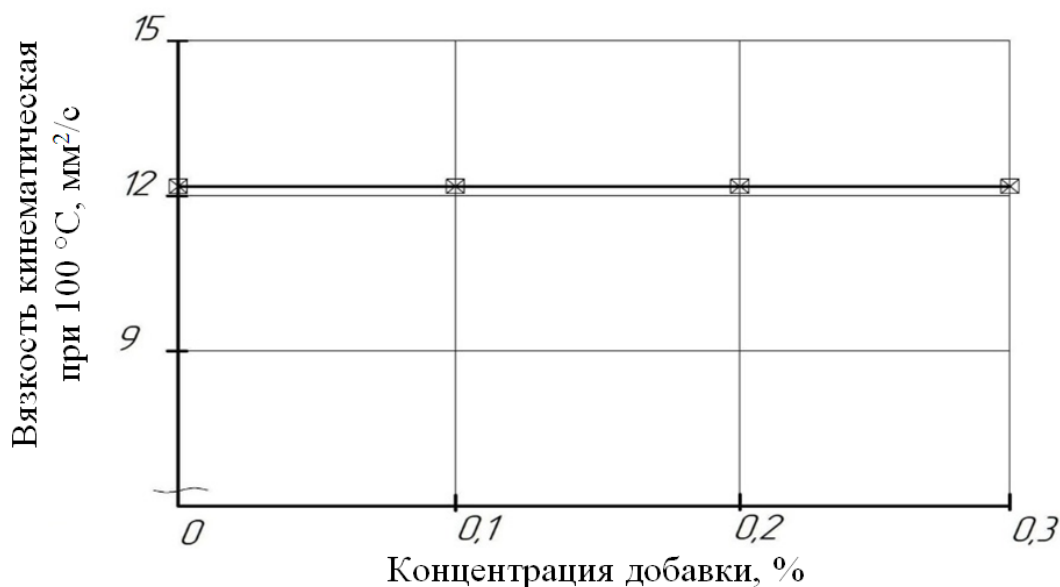


Рисунок 1 – Зависимость изменения вязкости кинематической моторного масла Лукойл 15W-40 от концентрации добавки «Кластер»

При определении влияния концентрации предлагаемой добавки на содержание механических примесей было отмечено незначительное их увеличение при концентрации добавки «Кластер» 0,3 % (рисунок 3).

Заключение. В целом по результатам лабораторных исследований не установлено существенных изменений физико-химических свойств базового масла под действием разработанной порошкообразной добавки, свидетельствующих о возможном снижении его срока службы в процессе работы ДВС.

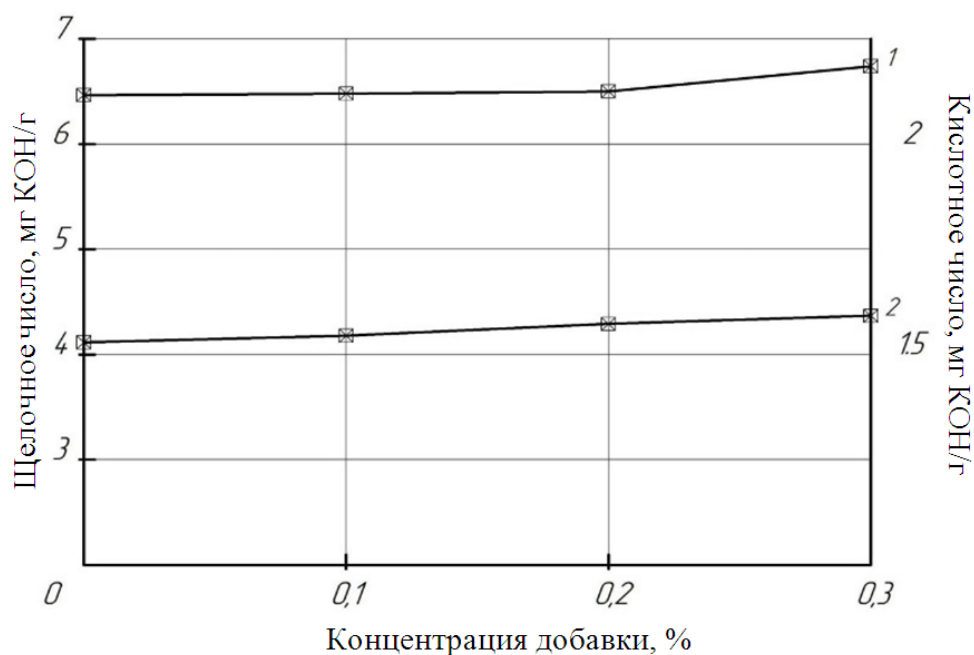


Рисунок 2 – Зависимость изменения щелочного (1) и кислотного (2) чисел моторного масла Лукойл 15W-40 от концентрации добавки «Кластер»

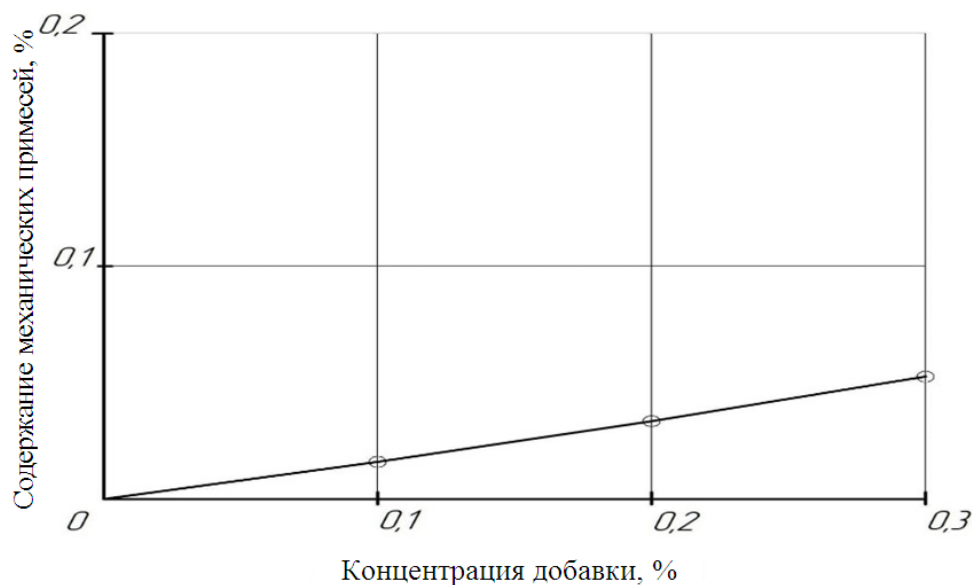


Рисунок 3 – Зависимость изменения содержания механических примесей в масле от концентрации добавки «Кластер»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безызнсная эксплуатация двигателей внутреннего сгорания: [монография] / Р. Ю. Соловьев [и др.] ; под общ. ред. Р. Ю. Соловьева. – М.: ФГБНУ ГОСНИТИ, 2015. – 196 с.
2. Дунаев, А. В. Системное применение триботехнологий на всех этапах жизненного цикла машин и оборудования / А. В. Дунаев // Труды ГОСНИТИ. – М., 2014. – С. 88–91.

3. Наноматериалы в техническом сервисе сельскохозяйственных машин: учебное пособие для вузов / В. И. Черноиванов [и др.] ; под общ. ред. В. И. Черноиванова. – М.: ГНУ ГОСНИТИ, 2010. – 68 с.
4. О влиянии нано- и высокодисперсных порошкообразных добавок на эксплуатационные свойства моторного масла / В. В. Сафонов [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 12. – С. 100–105.
5. Перспективные рецептуры моторных масел с нанодисперсными добавками для двигателей внутреннего сгорания / К. В. Сафонов [и др.] // Химия и технология топлив и масел. – 2022. – № 1 (629). – С. 16–18.
6. Сафонов, В. В. Исследование влияние добавок на трибологические характеристики смазочного материала и морфологию поверхностей трения / В. В. Сафонов [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 1. – С. 88–92.
7. ГОСТ 18136-72. Масла. Метод определения стабильности против окисления в универсальном аппарате. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 7 с.
8. ГОСТ 33-82. Нефтепродукты. Метод определения кинематической и расчет динамической вязкости. – М. : Изд-во стандартов, 1997. – 22 с.
9. ГОСТ 11362-96. Нефтепродукты. Метод определения числа нейтрализации потенциометрическим титрованием. – М. : Изд-во стандартов, 1997. – 17 с.
10. ГОСТ 6370-83. Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей. – М. : Изд-во стандартов, 2008. – 7 с.
11. Пат. 2123030 Российская Федерация, МПК⁶ C10M 125/00, C10M 125:04, C10M 125:22, C10M 125:24, C10N 30:06. Смазочная композиция [Текст] / Сафонов В.В., Добринский Э.К., Буйлов В.Н., Семин А.Г., Митюшкин А.А., Венскайтис В.В.; заявители и патентообладатели Сафонов В.В., Добринский Э.К., Буйлов В.Н. и [др.]. – № 97116529/04; заявл. 07.10.1997; опубл. 10.12.1998, Бюл. № 34. – 9 с.: ил.
12. Патент 2525238. Российская Федерация, МПК C10M 125/00, C10M 125/04, B82B 3/00, C01G 23/00, C10N 30/06. Смазочная композиция / Сафонов В. В., Добринский Э. К., Гороховский А. В., Буйлов В. Н., Сафонов К. В., Галкин А. А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова». – № 2013116082/04; заявл. 09.04.2013; опубл. 10.08.2014. Бюл. №22. – 10 с.

REFERENCES

1. Non-wearing Operation of Internal Combustion Engines: [Monograph] / R. Yu. Solovyov [et al.] ; edited by R. Yu. Solovyov. Moscow: FGBNU GOSNITI, 2015. 196 p.
2. Dunaev, A.V. Systemic application of tribotechnologies at all stages of the life cycle of machinery and equipment / A.V. Dunaev // Proceedings of the State University of Economics, Moscow, 2014, pp. 88-91.

3. Nanomaterials in the technical service of agricultural machinery: a textbook for universities / V. I. Chernoiyanov [et al.]; under General editorship by V. I. Chernoiyanov. Moscow: GNU State University, 2010. 68 p.
4. On the effect of nano- and highly dispersed powdered additives on the performance properties of engine oil / V. V. Safonov [et al.] // *Agricultural Scientific Journal*. - 2022. - No. 12. - pp. 100-105.
5. Promising formulations of motor oils with nanodisperse additives for internal combustion engines / K. V. Safonov [et al.] // *Chemistry and technology of fuels and oils*. - 2022. - № 1 (629). - Pp. 16-18.
6. Safonov, V. V. Research of the effect of additives on the tribological characteristics of lubricant and the morphology of friction surfaces / V. V. Safonov [et al.] // *Agrarian Scientific Journal*. - 2022. - No. 1. - Pp. 88-92.
7. GOST 18136-72. Oils. Method for Determining Stability Against Oxidation in a Universal Apparatus. Moscow: Publishing House of Standards, 1988. 7 p.
8. GOST 33-82. Petroleum Products. Method for Determining Kinematic and Calculating Dynamic Viscosity. Moscow: Publishing House of Standards, 1997. 22 p.
9. GOST 11362-96. Petroleum Products. Method of determining the neutralization number by potentiometric titration. - M. : Publishing House of Standards, 1997. - 17 p.
10. GOST 6370-83. Oil, petroleum products, and additives. Method of determining mechanical impurities. - M. : Publishing House of Standards, 2008. - 7 p.
10. GOST 6370-83. Oil, petroleum products, and additives. Method for determining mechanical impurities. - Moscow: Standards Publishing House, 2008. - 7 p.
11. Pat. 2123030 Russian Federation, MPK6 C10M 125/00, C10M 125:04, C10M 125:22, C10M 125:24, C10N 30:06. Lubricant composition [Text] / Safonov V.V., Dobrinsky E.K., Buylov V.N., Semin A.G., Mityushkin A.A., Venskaitis V.V.; applicants and patent holders Safonov V.V., Dobrinsky E.K., Buylov V.N. and [others]. - No. 97116529/04; application 07.10.1997; publ. 10.12.1998, Bul. No. 34. - 9 p.: ill.
12. Patent 2525238. Russian Federation, IPC C10M 125/00, C10M 125/04, B82B 3/00, C01G 23/00, C10N 30/06. Lubricant composition / Safonov V. V., Dobrinsky E. K., Gorokhovskiy A.V., Buylov V. N., Safonov K. V., Galkin A. A.; applicant and patent proprietor Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education Higher education Institution Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. - No. 2013116082/04; filed on April 9, 2013; published on August 10, 2014. Bulletin No. 22. - 10 pages.

**ПЕРЕВОД СИСТЕМЫ СМАЗКИ ДВИГАТЕЛЕЙ КАМАЗ-740
НА АПЕРИОДИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ:
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНОГО
РЕШЕНИЯ**

Шерстнев Н.А.¹, Кулаков А.Т.¹, Фахруллин И.Р.²

¹ НЧИ ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
г.Набережные Челны

² ОЭЗ "Алабуга"

Аннотация: Статья посвящена анализу динамической устойчивости гидравлической системы смазки двигателей КАМАЗ-740. Рассматривается проблема автоколебаний («дребезга») дифференциального клапана старой конструкции, приводившая к резонансным механическим разрушениям элементов привода масляного насоса. Представлена полная нелинейная математическая модель динамики узла. Дано физико-математическое обоснование модернизации узла методом преднамеренного увеличения инерционности плунжера и гидравлического сопротивления в цепи обратной связи.

Ключевые слова: дифференциальный клапан, автоколебания, аperiodическое звено, демпфирование, гидромеханический резонанс, КАМАЗ-740.

Original article

**SWITCHING THE LUBRICATION SYSTEM OF KAMAZ-740 ENGINES TO
AN APERIODIC PRESSURE REGULATION MODE: PHYSICAL AND
MATHEMATICAL JUSTIFICATION OF THE ENGINEERING SOLUTION**

Kulakov A.T.¹, Sherstnev N.A.¹, Fakhrullin I.R.²

¹ Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga Region) Federal University,
Naberezhnye Chelny

² SEZ "Alabuga"

Abstract: The article analyzes the dynamic stability of the hydraulic lubrication system in KAMAZ-740 engines. It addresses the issue of self-oscillations ("chatter") in the older differential valve design, which caused resonant mechanical failures in the oil pump drive components. A complete non-linear mathematical model of the assembly dynamics is presented. The authors provide a physical and mathematical justification for upgrading the unit by intentionally increasing plunger inertia and hydraulic resistance in the feedback loop.

Keywords: differential valve, self-oscillations, aperiodic element, damping, hydromechanical resonance, KAMAZ-740.

Введение. Система смазки двигателей семейства КАМАЗ-740 традиционно использует прогрессивную схему автоматического регулирования давления в системе смазки двигателя. В отличие от классической архитектуры (например, на двигателях ЯМЗ), где избыток давления просто «срезается» редуционным клапаном со сбросом масла в картер, инженеры Камского

автозавода применили дифференциальный (редукционно-перепускной) клапан (в конструкторской документации называемого «клапаном системы смазки»), встроенный непосредственно в нагнетающую секцию масляного насоса.

Этот клапан работает по принципу замыкания избыточного потока внутри насосного узла, что снижает тепловую нагрузку на масло и экономит полезную мощность двигателя. Однако базовая реализация данной схемы столкнулась со скрытой динамической проблемой в переходных режимах работы — автоколебаниями регулирующего элемента.

Механизм гидромеханического резонанса («дребезга»)

Шестеренный масляный насос по своей природе создает не ламинарный поток, а серию высокочастотных гидравлических импульсов давления. В ранних модификациях системы смазки подпружиненный золотник клапана обладал малой массой и недостаточным демпфированием (ввиду внутренних полостей и широкого отверстия в пробке диаметром 3 мм).

Это приводило к возникновению опасной цепи обратной связи:

1. Каждый локальный импульс давления от шестерен мгновенно доходил до торца легкого золотника.

2. Золотник резко сдвигался, открывая перепускное окно, после чего давление в магистрали падало.

3. Возвратная пружина возвращала золотник назад, перекрывая канал до прихода следующего импульса.

Система входила в режим незатухающих автоколебаний («дребезг»). Переключение между фазами забора масла происходило дискретно, генерируя жесткие гидравлические удары во всасывающей линии и в полости перепуска. Циклическая смена нагрузок (от номинального сопротивления до работы «на себя») трансформировалась в разрушительные механические удары в зацеплении шестерен привода. Следствием этого становились усталостные изломы зубьев, срез шпонок, разрушение валиков привода и появление трещин в алюминиевом блоке цилиндров в зоне крепления насоса. На форсированных двигателях (модель 7403) из-за возросших оборотов и потока энергии данная проблема приобрела критический характер.

Полная математическая модель гидравлической системы.

Для глубокого анализа переходных процессов и устойчивости узла разработана нелинейная математическая модель, описывающая взаимосвязанное поведение механической и гидравлической подсистем. Состояние системы во времени полностью определяется четырьмя фазовыми переменными: перемещением клапана ($x(t)$), скоростью ($v(t)$), давлением в управляющей полости клапана ($P_{control}(t)$) и давлением в главной масляной магистрали ($P_{насос}(t)$).

Система дифференциальных уравнений, описывающая динамику объекта, имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx}{dt} = v - (\text{скорость}) \\ \frac{dv}{dt} = \frac{1}{m} (P_{control}(t) * A - k * (x_0 + x) - \mu_{кл} v) - (\text{ускорение}) \\ \frac{dP_{control}}{dt} = \frac{B}{V + A * x} (Q_{dempff} - A * v) - \left(\begin{array}{c} \text{динамика} \\ \text{давления в клапане} \end{array} \right) \\ \frac{dP_{насос}}{dt} = \frac{B(Q_{насос}}{V_{ГММ}} (Q_{насос} - Q_{ГММ}(P_{насос}) - Q_{bypass}(x, P_{насос}) - \left(\begin{array}{c} \text{динамика} \\ \text{давления} \\ \text{в ГММ} \end{array} \right) \end{array} \right. \quad (1)$$

Где «ГММ» - главная масляная магистраль двигателя.

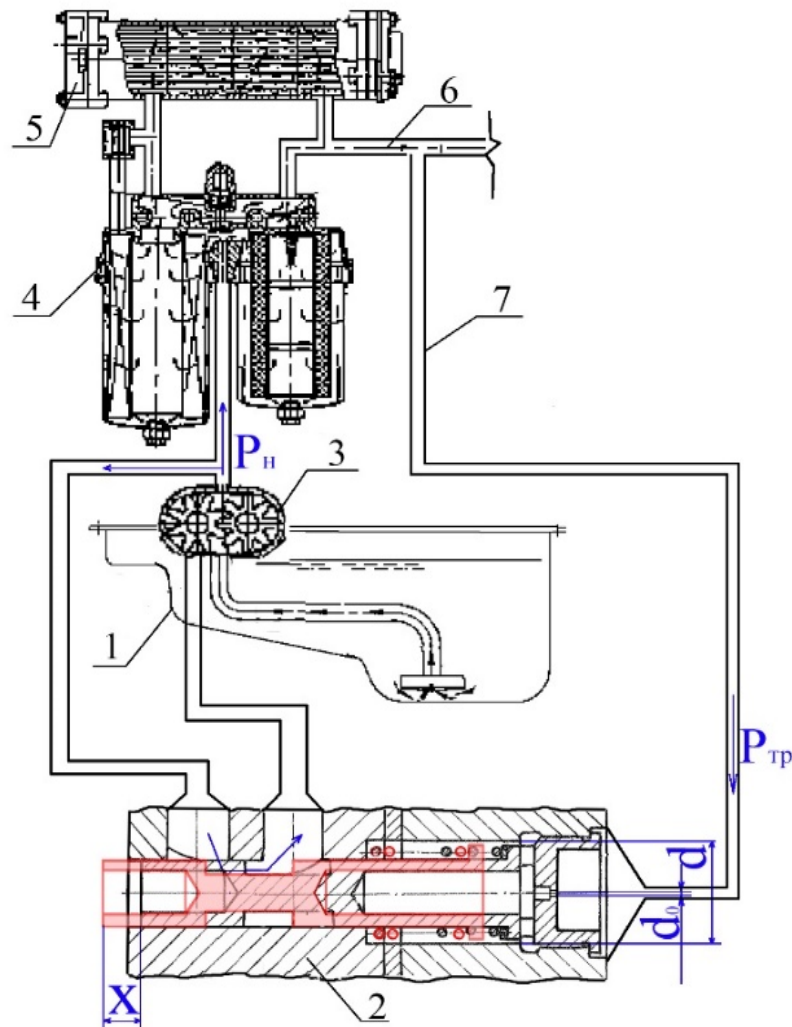


Рисунок 1. Схема работы клапана системы смазки двигателя КАМАЗ:
 1 - картер масляный; 2 - клапан системы смазки; 3 - насос масляный; 4 - фильтр очистки масла; 5 - водомасляный теплообменник; 6 – масляная магистраль; 7 – подводящая трубка

1. Уравнение движения клапана

На основе второго закона Ньютона уравнение механического движения плунжера записывается как баланс сил инерции, давления рабочей среды, упругости пружины и вязкого трения (рисунок 1):

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = \sum F \quad (2)$$

Или в развернутом виде:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = P_{control}(t) * A - k * (x_0 + x) - \mu_{кл} \frac{dx}{dt} \quad (3)$$

где: m — масса клапана (поршня), кг. Сила инерции $m \frac{d^2 x}{dt^2}$ определяет сопротивление клапана разгону; чем выше масса, тем ниже склонность к автоколебаниям.

$F_{control}(t) = P_{control}(t) * A$ — управляющая сила давления масла на торец клапана площадью $A = \pi \frac{D^2}{4}$, (где D — диаметр клапана), стремящаяся его открыть.

$k * (x_0 + x)$ — сила упругости возвратной пружины с жесткостью k (Н/м), где x_0 задает величину предварительного поджатия (деформации) при закрытом клапане, определяя уставку начала открытия.

$\mu_{кл} \frac{dx}{dt}$ — сила вязкого трения клапана о стенки корпуса, где $\mu_{кл}$ — коэффициент вязкого трения (Н·с/м).

2. Динамика давления в управляющей полости

Поскольку управляющее давление подается через демпфирующее отверстие в пробке, мгновенное давление в полости ($P_{control}$) не равно давлению в магистрали ($P_{ГММ}$), а «догоняет» его с задержкой. Скорость изменения давления определяется уравнением сжимаемости жидкости:

$$\frac{dP_{control}}{dt} = \frac{B}{V_{кл} + A * x} (Q_{demp f} - A * \frac{dx}{dt}) \quad (4)$$

где B — модуль объемной упругости моторного масла (Па), характеризующий его жесткость;

$V_{кл}$ — начальный объем полости при закрытом клапане;

$A * \frac{dx}{dt}$ — изменение текущего объема полости за счет перемещения самого клапана.

Расход масла сквозь демпфирующее отверстие в пробке ($Q_{demp f}$) рассчитывается по уравнению Бернулли для турбулентного потока:

$$Q_{demp f} = C_d A_{demp f} \sqrt{\frac{2|P_{ГММ} - P_{control}|}{\rho}} \operatorname{sgn}(P_{ГММ} - P_{control}) \quad (5)$$

Здесь C_d — коэффициент расхода отверстия ($\sim 0,6 \div 0,8$); $A_{demp f} = \pi \frac{d_0^2}{4}$ — площадь отверстия в пробке диаметром d_0 ; ρ — плотность масла (~ 850 кг/м³). Функция знака (sgn) обеспечивает математически корректное изменение направления потока, если давление внутри полости превысит давление в магистрали. Данная нелинейность указывает на то, что расход растет пропорционально квадратному корню перепада давления.

3. Расходные характеристики и байпасный канал

При смещении клапана на величину (x) его боковая кромка открывает перепускное (байпасное) окно площадью $S(x) = \pi D_{window} x$ (где D_{window} — диаметр байпасного канала). Расход масла (Q_{bypass}), циркулирующий по короткому контуру с выхода на вход насоса, составляет:

$$Q_{bypass} = \mu_{window} S(x) \sqrt{\frac{2(P_{насос} - P_{вх})}{\rho}} \quad (6)$$

где μ_{window} — коэффициент расхода перепускного окна. Если $x \leq 0$, то $Q_{bypass} = 0$.

Общий баланс расходов в ГММ подчиняется закону сохранения массы:

$$Q_{насос} - Q_{ГММ} - Q_{bypass} = \frac{V_{ГММ}}{B} \frac{dP_{насос}}{dt} \quad (7)$$

Теоретическая подача шестеренного насоса жестко привязана к геометрии шестерен и оборотам коленчатого вала $n_{КВ}$ через коэффициент привода $k_{прив}$ ($n_{нас} = n_{КВ} * k_{прив}$): $Q_{насос} = V_{\{зуб\}} * z * n_{нас}$, где $z = 8$ — число зубьев шестерни. Потребление двигателя определяется гидравлическим сопротивлением каналов смазки $R_{сист}$: $Q_{ГММ} = \frac{P_{ГММ}}{R_{сист}}$. Из уравнения (7) видно, что при превышении подачи насоса над потреблением двигателя $\Delta Q > 0$ происходит сжатие жидкости $\frac{dP_{насос}}{dt} > 0$, и единственным способом стабилизации давления становится своевременное открытие клапана Q_{bypass} .

Анализ устойчивости и частотные характеристики

Для оценки характера движения золотника рассмотрим уравнение свободных колебаний изолированной механической системы «клапан–пружина» при отсутствии внешнего возмущения $F_{control}(t)=0$:

$$m\ddot{x} + \mu_{кл}\dot{x} + kx = 0 \quad (8)$$

Используя подстановку решения в форме затухающей экспоненты $x(t)=e^{st}$, получаем характеристическое алгебраическое уравнение $ms^2 + \mu s + k = 0$, корни которого равны:

$$s_{1,2} = \frac{-\mu_{кл} \pm \sqrt{\mu_{кл}^2 - 4mk}}{2m} \quad (9)$$

Анализ корней позволяет классифицировать три режима затухания:

Слабое демпфирование / Колебательный режим ($\mu_{кл} < 2\sqrt{mk}$). Трение недостаточно велико, плунжер по инерции пролетает положение равновесия, генерируя «дребезг». Собственная частота таких колебаний определяется как:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{\mu}{2m}\right)^2} \quad (10)$$

1. **Критическое демпфирование** ($\mu_{кл} = 2\sqrt{mk}$). Идеальный баланс, при котором система возвращается в исходную точку за минимальное время без единого перерегулирования (осцилляции).

2. **Сильное демпфирование / Передемпфирование** ($\mu_{кл} > 2\sqrt{mk}$). Трение чрезмерно велико, система становится инерционной («ленивой») и неоправданно долго реагирует на изменение внешних параметров.

В реальных условиях на клапан непрерывно воздействуют вынуждающие пульсации масляного насоса, частота которых напрямую зависит от частоты вращения двигателя (RPM):

$$\omega_{насос} = \frac{RPM * z * k_{прив}}{60} \quad (11)$$

где: RPM — обороты двигателя в минуту.

Результирующее перемещение клапана описывается линейной комбинацией свободных и вынужденных колебаний:

$$x(t) = A_1 e^{-\frac{\mu}{2m}t} \cos(\omega_{\text{кл}} t + \phi_1) + A_2 \cos(\omega_{\text{насос}} t + \phi_2) \quad (12)$$

Амплитуда вынужденных колебаний клапана $A_{\text{кл}}$ (эквивалентная A_2) рассчитывается по формуле:

$$A_{\text{кл}} = \frac{F_{\text{control}}/k}{|1 - (\frac{\omega_{\text{насос}}}{\omega_0})^2|} \quad (13)$$

где $\omega_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$ - собственная частота колебания системы «клапан-пружина».

При приближении рабочих оборотов к условию $\omega_{\text{насос}} \approx \omega_0$, амплитуда $A_{\text{кл}}$ резко возрастает, вызывая разрушительный резонанс. Из уравнения (13) четко следует, что **увеличение массы клапана m снижает его собственную частоту ω_0** , гарантированно уводя ее из диапазона частот пульсаций насоса $\omega_{\text{насос}}$.

Временное запаздывание и передаточные функции звеньев

Полная временная задержка срабатывания регулирующего контура системы складывается из двух составляющих:

$$\tau_{\text{сист}} = \tau_f + \tau_{\text{dempf}} \quad (14)$$

1. Инерционность полнопоточного фильтра τ_f

Корпус масляного фильтра и его пористый фильтрующий элемент обладают податливостью, а масло — упругостью B . При всплеске давления на выходе насоса часть энергии расходуется на упругую деформацию емкости фильтра. Динамика фильтра описывается классическим аperiodическим звеном первого порядка:

$$\tau_f * \frac{dP_{\text{ГММ}}}{dt} + P_{\text{ГММ}} = P_{\text{насос}} \quad (15)$$

Постоянная времени фильтра τ_f определяется через произведение гидравлического сопротивления фильтра R_f и гидравлической емкости $C_f = \frac{V_f}{B}$, (где V_f — объем фильтра):

$$\tau_f = R_f \frac{V_f}{B} \quad (16)$$

2. Запаздывание в демпфере пробки (τ_{dempf})

Для малых интервалов времени в окрестности рабочей точки нелинейные уравнения (4) и (5) можно линеаризовать:

$$\frac{dP_{\text{control}}}{dt} = \frac{B}{V_{\text{control}}} Q_{\text{dempf}} \quad (17)$$

$$Q_{\text{dempf}} = K_d * (P_{\text{ГММ}} - P_{\text{control}}) \quad (18)$$

где K_d — линеаризованный коэффициент пропускной способности демпфера. Подстановка (18) в (17) приводит выражение к стандартному виду аperiodического звена:

$$\tau_{\text{кл}} * \frac{dP_{\text{control}}}{dt} + P_{\text{control}} = P_{\text{ГММ}} \quad (19)$$

Где постоянная времени запаздывания цепи обратной связи равна:

$$\tau_{\text{dempf}} = \frac{V_{\text{control}}}{BK_d} = R_{\text{dempf}} * C_{\text{control}} = \frac{\Delta P}{Q_{\text{dempf}}} \frac{V_{\text{control}}}{B} \quad (20)$$

3. Время физического перемещения плунжера ($t_{\text{кл}}$)

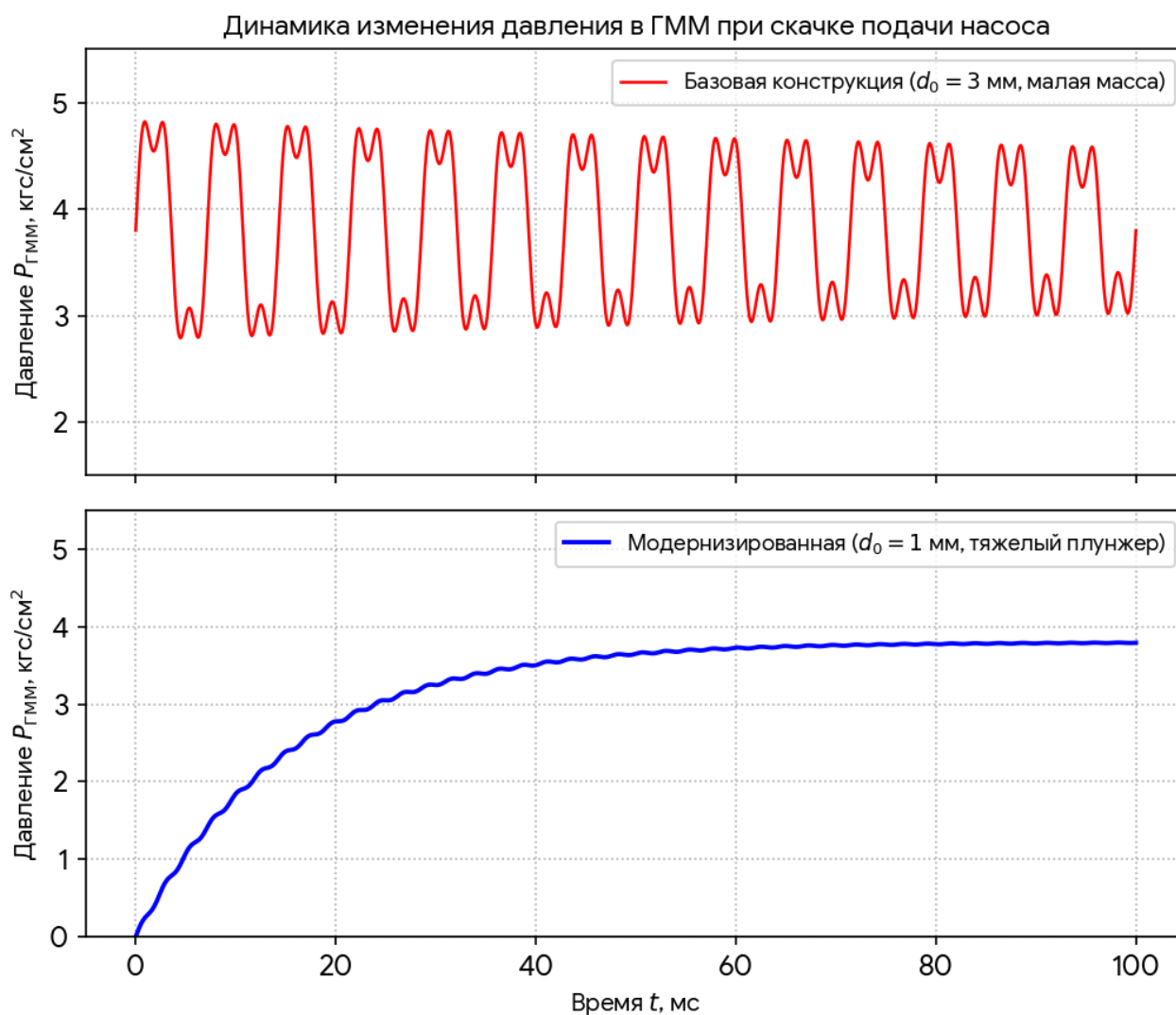
На основе упрощенной формулы равноускоренного движения из состояния покоя определено время, необходимое для физического открытия перепускных окон клапаном под действием средней результирующей силы $F_{\text{рез}}$:

$$t_{\text{кл}} = \sqrt{\frac{2xm}{F_{\text{control}} - (F_{x0} + \frac{kx}{2})}} \quad (21)$$

Результаты численного моделирования и графический анализ

Для верификации разработанного математического аппарата (уравнения 1–21) выполнено имитационное численное моделирование переходных процессов. В качестве тестового воздействия выбран резкий скачок частоты вращения коленчатого вала ($n_{\text{кв}}$) от минимальных холостых оборотов до номинального рабочего режима, вызывающий ступенчатый наброс подачи шестеренного насоса.

Ниже приведена визуализация отклика давлений в системе (магистральной ГММ) во временной области для исходной и модернизированной конструкций клапана:



Анализ графиков переходных процессов:

1. **Базовая (критическая) конструкция:** Как видно на верхнем графике, реакция системы на изменение расхода носит ярко выраженный колебательный характер. Малая масса золотника в сочетании со слабым демпфированием ($d_0=3$ мм) провоцирует возникновение незатухающего «дребезга» с частотой порядка 140 Гц. Амплитуда пульсаций достигает ± 1.1 кгс/см², что вызывает повторяющиеся локальные гидроудары и приводит к усталостным разрушениям шестерен привода. На высокочастотные колебания клапана накладываются также гармоники зацепления шестерен (420 Гц).

2. **Модернизированная конструкция:** На нижнем графике представлена динамика давления после сужения демпфирующего отверстия до $d_0=1$ мм и утяжеления плунжера. Процесс полностью перешел в **стабильный апериодический режим**. Перерегулирование отсутствует, время выхода на квазистационарный рабочий уровень $P = 3.8$ кгс/см² составляет около 40–50 мс. Высокочастотные пульсации давления шестеренной секции эффективно гасятся дроссельным узлом (уравнение 20) и полностью сглаживаются за счет возросшей механической инерции регулирующего органа.

Физический смысл и выводы

Конструктивные изменения, внедренные инженерами (увеличение массы плунжера m и уменьшение диаметра отверстия d_0 с 3 до 1 мм), изменили динамический режим работы регулятора.

Согласно формуле Пуазейля для ламинарного течения, гидравлическое сопротивление канала обратно продвинуто четвертой степени его диаметра $\Delta P \sim \frac{1}{d_0^4}$. Сужение отверстия в 3 раза увеличило сопротивление R_{demp} примерно в $3^4 = 81$ раз, что вызвало пропорциональный рост постоянной времени запаздывания τ_{demp} (см. формулу 20).

В результате цепь обратной связи превратилась в жесткий низкочастотный фильтр, полностью сглаживающий пульсации частотой $\omega_{насос}$. Одновременное увеличение массы m снизило собственную частоту ω_0 (уравнение 10) и увеличило время физического отклика $t_{кл}$ (уравнение 21). Система перешла из неустойчивого колебательного режима в устойчивый апериодический. Клапан потерял способность реагировать на мгновенные скачки давления, но сохранил способность точно позиционироваться в зависимости от средних, квазистационарных изменений расходов в двигателе, полностью исключив разрушительный гидромеханический резонанс в приводе насоса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барун В.Н., Азаматов Р.А., Машков Е.А. и др. Автомобили КамАЗ: техническое обслуживание и ремонт. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1988. — 352 с.

2. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: учебник для машиностроительных вузов / Т. М. Башта, С. С. Руднев, Б. Б. Некрасов [и др.]. – 4-е изд., стер. – Москва: Издательский дом «Альянс», 2010. – 423 с.
3. Д.Н. Попов «Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем» М.: Машиностроение, 1976/1977, 424 с.
4. Никишин В.Н. Формирование и обеспечение качества автомобильного дизеля. Часть II, ГОУ ВПО «Камская госуд. Инж.-экон. акад.», г.Набережные Челны, 2008 – 175с.
5. А.Т. Кулаков, А.С. Денисов, А.А.: Обеспечение надежности автотракторных двигателей. Научная монография/ Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2007. - 422 с.
6. Руководство по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту. Двигатели КамАЗ: 740.11-240, 740.13-260, 740.14-300, 740.30-260, 740.50-360, 740.57-320, 740.50-3901001КД. Набережные Челны: ОАО «КамАЗ», 2002. 247с.

REFERENCES

1. Barun, V.N., Azamatov, R.A., Mashkov, E.A. et al. (1988) KamAZ Trucks: Maintenance and Repair. 2nd ed. Moscow: Transport Publ. 352 p.
2. Bashta, T.M., Rudnev, S.S., Nekrasov, B.B. et al. (2010) Hydraulics, Hydraulic Machines and Hydraulic Drives: Textbook for Mechanical Engineering Universities. 4th ed. Moscow: Alliance Publishing House. 423 p.
3. Popov, D.N. (1976) Dynamics and Regulation of Hydraulic and Pneumatic Systems. Moscow: Mashinostroenie Publ. 424 p.
4. Nikishin, V.N. (2008) Formation and Quality Assurance of Automotive Diesel Engines. Part II. Naberezhnye Chelny: Kama State Academy of Engineering and Economics. 175 p.
5. Kulakov, A.T., Denisov, A.S., A.A. [co-author initials missing in original] (2007) Ensuring the Reliability of Tractor and Automobile Engines: Scientific Monograph. Saratov: Saratov State Technical University Publ. 422 p.
6. Operation, Maintenance and Repair Manual. KamAZ Engines: 740.11-240, 740.13-260, 740.14-300, 740.30-260, 740.50-360, 740.57-320, 740.50-3901001KD. (2002) Naberezhnye Chelny: OJSC "KamAZ". 247 p.

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Научная статья
УДК: 631.3.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНОГО ПРОЦЕССА ПРИ ПОГРУЗКЕ МЯГКИХ КОНТЕЙНЕРОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ГРУЗО-ЗАХВАТНОГО УСТРОЙСТВА

Васильчиков В.В., Николаев А.С. Пономарев Д.А.

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия.

Аннотация. В статье рассматриваются особенности выбора грузозахватных устройства на стрелу фронтального погрузчика для погрузки мягких контейнеров

Ключевые слова: фронтальный погрузчик, метод конечных элементов, фронтальный погрузчик, контейнеры BigBag, станции затаривания.

Original article

INCREASING THE EFFICIENCY OF LOADING AND UNLOADING SOFT CONTAINERS SUCH AS BIG BAGS BY USING AN AUTOMATED LOADING AND UNLOADING DEVICE

Vasilchikov V.V., Nikolaev A.S., Ponomarev D.A.

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilova, Saratov, Russia

Annotation: The article discusses the features of the choice of load-lifting devices on the boom of a front loader for loading rolls of coarse feed packed in film.

Key words: front-end loader, finite element method, front-end loader, BigBag containers, filling stations.

Введение. Мягкие контейнеры Big-Bag (МКР — мягкие контейнеры разовые) стали стандартом логистики для сыпучих, гранулированных и пастообразных грузов: от минеральных удобрений и цемента до пластиковых гранул и пищевых продуктов. Однако их форма и свойства накладывают определенные требования к процессу погрузки-разгрузки. Ручной труд или использование неподходящего оборудования приводят к низкой производительности, повреждению тары и риску травматизма. Ключевым фактором повышения эффективности является комплексный подход,

центральное место в котором занимает правильный выбор и применение грузозахватных устройств.

Стандартные методы работы с Big-Bag, такие как строповка текстильными стропами или попытка поднять пустой/частично заполненный мешок виловым погрузчиком, сопряжены со следующими проблемами:

1. **Низкая производительность.** Процесс ручной строповки требует времени и часто участия двух-трёх человек. Это создаёт «бутылочное горлышко» на складе или производстве.

2. **Повреждение контейнеров.** Острые кромки строп или давление вилок могут повредить ткань контейнера (*плотность 140–200 г/м²*), что особенно критично для опасных грузов или гигроскопичных материалов (например, минеральных удобрений).

3. **Неустойчивость груза.** Пустой или частично заполненный *Big-Bag* имеет неправильную форму центра тяжести. При подъёме стропами он может сорваться с направляющих, а при использовании вилок — соскользнуть с них, создавая, тем самым, угрозу безопасности.

4. **Высокие трудозатраты.** Необходимость ручного труда увеличивает фонд оплаты труда и риск производственных травм (растяжения, защемления).

Одним из решений этих проблем является разработка специализированных технических решений.

Повышение эффективности достигается за счёт внедрения специализированного навесного оборудования с устройством автоматизированного контроля режимных параметров [2, 3].

Методика исследований:

Станции для затаривания, а также, различные устройства для растаривания мягких контейнеров типа Big-Bag широко представлены на рынке, но они, на наш взгляд, имеют ряд недостатков – отсутствие мобильности и универсальности.

Кроме того, для осуществления погрузо-разгрузочных и транспортных работ в этом случае используется минимум два технических средства – непосредственно сама станция затаривания мягких контейнеров Big-Bag и фронтальный погрузчик.

В большинстве случаев для транспортировки мешков используют, как правило, имеющуюся в наличии навеску на фронтальный погрузчик, от стандартного ковша и вилок до специального навесного оборудования для транспортировки мешков Big-bag.

Предлагаемое устройство для затаривания и погрузки мешков Big-bag представляет сварную раму с горизонтальными направляющими для подвешивания контейнера и устройством для обжима верхнего клапана для надежного затаривания контейнера (рисунок 1).

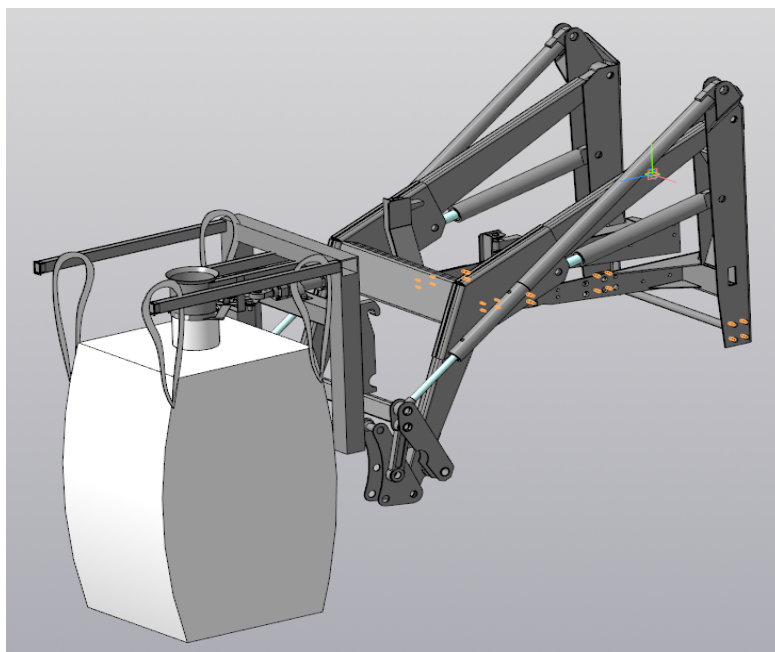


Рисунок 1. Устройство для затаривания и погрузки мешков Big-bag навесное

Технологическая схема предлагаемого устройства заключается в следующем:

1. Трактор с фронтальным погрузчиком и навешенным на него автоматизированным устройством осуществляет подъезд к месту хранения сыпучих грузов.

2. Стропы мягкого контейнера типа Big-Bag закрепляются на направляющих, при этом верхняя загрузочная горловина надевается на соответствующий загрузочный патрубок на навесном устройстве для затаривания.

3. С помощью актуатора, подключенного к контроллеру, приводится в действие механизм обжима загрузочной горловины. После наполнения контейнера Big-Bag его загрузочная горловина освобождается и закупоривается. После чего погрузчик с контейнером Big-Bag перемещается к транспортному средству или иному пункту разгрузки.

Для обеспечения технологического процесса затаривания, требующих обжима загрузочного клапан мягких контейнеров типа Big-Bag, было разработано специальное автоматизированное устройство обжима (рисунок 2).

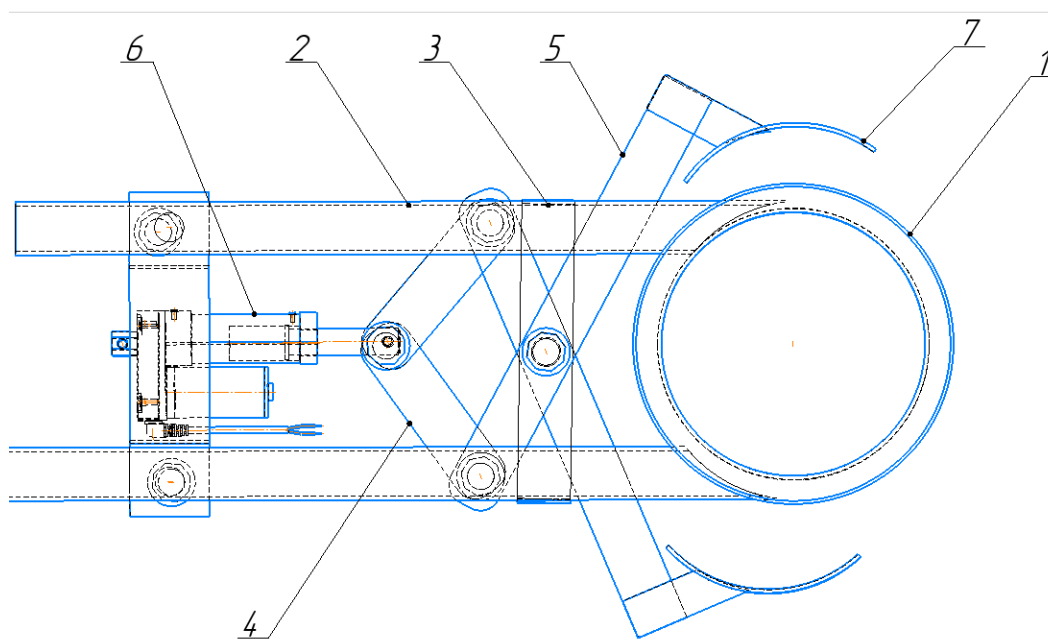


Рисунок 2. Загрузочная горловина с обжимным роботизированным механизмом

Принцип работы механизма следующий (рисунок 2): усилие со штока актуатора 6 передается на планки 4, а те, в свою очередь, передают усилие на рычаги 5. При этом обжимные планки 7 расходятся в стороны от загрузочного патрубка 1, тем самым позволяя свободно зафиксировать верхнюю часть захвата на загрузочной горловине контейнера Big-bag., после этого шток актуатора возвращается в исходное положение и происходит обжатие горловины контейнера Big-bag.

Ограничителями силы обжатия в данном случае служат сам шток актуатора (в полностью убранном положении происходит обжим горловины), а при выдвижении штока раскрытие рычагов ограничивается рамкой 3. Кроме того, для более корректного обжатия горловины и предотвращения повреждения материал упаковки (мягкого контейнера) служат концевые датчики, установленные на рычагах 4. Сигналы от данных датчиков регистрируются микроконтроллером после чего происходит отключение актуатора.

Заключение. Переход от ручного труда к использованию современных грузозахватных автоматизированных устройств и станций растаривания является ключевым шагом к построению эффективной, безопасной и экономически выгодной логистической цепочки при работе с мягкими контейнерами типа Big-Bag.

Предлагаемая конструкция роботизированного захвата для мягких контейнеров позволяет повысить производительность погрузо-разгрузочных и транспортных работ и сократить время простоя транспорта, а также обеспечить безопасность при их проведении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированная справочная система «Сельхозтехника» [Электронный ресурс] URL: https://www.agrobase.ru/catalog/machinery/machinery_f54b08a5-e4aa-4bd4-945d-3f2f87394ce7
2. Биг Бэги (мешки МКР): область применения, назначение, производство. [Электронный ресурс] URL: <https://rostexika.ru/a193448-big-begi-meshki.html> (дата обращения 10.05.2025)
3. ЗАХВАТЫ ДЛЯ БИГ-БЭГОВ НА ВИЛОЧНЫЙ ПОГРУЗЧИК [Электронный ресурс] URL: <http://www.mainavira.nt-rt.ru/>
4. Токарев, В.И. Разработка методов и средств повышения эксплуатационной эффективности мобильных погрузчиков сельскохозяйственного назначения. [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01: защищена 17.12.2018: / Токарев Владимир Иванович. - Волгоград., 2018. - 174 с.

REFERENCES

1. "Selkhoztekhnika" Automated Reference System [Electronic resource] URL: https://www.agrobase.ru/catalog/machinery/machinery_f54b08a5-e4aa-4bd4-945d-3f2f87394ce7
2. Big Bags (FIBCs): scope of application, purpose, and production. [Electronic resource] URL: <https://rostexika.ru/a193448-big-begi-meshki.html> (accessed May 10, 2025)
3. Big Bag Grabs for Forklifts [Electronic resource] URL: <http://www.mainavira.nt-rt.ru/>
4. Tokarev, V.I. Development of methods and means for improving the operational efficiency of mobile agricultural loaders. [Text]: Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences: 05.20.01: defended Dec. 17, 2018: / Tokarev Vladimir Ivanovich. – Volgograd, 2018. – 174 p.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА КОНТЕЙНЕРНОЙ СУШИЛКИ СЕМЯН ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Е.Е. Демин, П.И. Павлов, С.А. Шишурин, Г.Е. Шардина

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, Россия

М.Д. Винокурова

Саратовский национальный исследовательский университет им. Н.Г. Чернышевского, Россия

Аннотация: в статье приведены результаты исследования технологических операций существующих технологий процессов сушки семян зерновых культур. Определено, что распределение теплоносителя по контейнерам с семенами должно иметь возможность качественного регулирования его подачи, исключающей локальные перегревы высушиваемого зерна. Продувка теплоносителем с определенными рациональными параметрами обезвоживаемого материала в контейнерах с целью отделения влаги с поверхности объекта сушки должна удовлетворять следующим условиям: равномерного нагрева всех семян, достаточной выровненностью по относительной влажности, необходимой скорости сушки. Разработана и предложена технологическая схема контейнерной сушки семян зерновых культур.

Ключевые слова: семена, зерновые культуры, сушка, устройство, процесс, теплоноситель, контейнер, отработавший воздух, технологическая схема.

Original article

TECHNOLOGICAL SCHEME OF A CONTAINER-TYPE DRYER FOR SEEDS OF GRAIN CROPS

E.E. Demin, P.I. Pavlov, S.A. Shishurin, G.E. Shardina

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Russia

M.D. Vinokurova

Saratov National Research University named after N.G. Chernyshevsky, Russia

Abstract: The article presents the results of a study of the technological operations of existing technologies for drying seeds of grain crops. It has been determined that the distribution of the coolant among containers with seeds should allow for high-quality control of its supply, excluding local overheating of the grain being dried. Blowing with a coolant having certain rational parameters of the dehydrated material in containers in order to separate moisture from the surface of the drying object must satisfy the following conditions: uniform heating of all seeds, sufficient uniformity in

relative humidity, and the required drying rate. A technological scheme for container drying of seeds of grain crops has been developed and proposed.

Keywords: seeds, grain crops, drying, device, process, coolant, container, exhaust air, technological scheme.

Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации предусмотрен критерий самообеспечения семенами основных сельскохозяйственных культур отечественной селекции 75% [1]. С целью выполнения обозначенного критерия необходимо выполнять комплекс мероприятий по совершенствованию технологий производства и хранения семян зерновых культур. При этом, особую значимость имеет процесс послеуборочной обработки семенного материала, в том числе его сушка за счет воздействия теплоносителя.

Способы, методы и режимные параметры сушения семян зерна существенно влияет на их всхожесть. Так нахождение семян при температуре, превышающей определенную граничную величину, ведет к значительному уменьшению качественных показателей. Исследования существующих технологических схем процессов сушки семенного зерна [2 – 5] позволили изучить технологические операции технологий сушения семян зерновых культур и разработать технологическую схему их контейнерной сушки (Рисунок 1).

Предлагаемая схема имеет следующие операции технологического воздействия. Это подготовительный этап, который включает подготовку мелкой партии семенного материала, его загрузку в сушильные емкости и установку их в сушилку. При этом должно обеспечиваться условие минимального силового воздействия на семена для исключения травмирования.

Основной рабочий цикл сушильного процесса характеризуется операциями. Нагрев атмосферного воздуха до необходимой температуры в соответствии с агротехническими и технологическими требованиями для семян различных зерновых культур. Подача теплоносителя в виде нагретого атмосферного воздуха к каждому рабочему контейнеру с семенным зерном, причем одинаковой температуры. Распределение теплоносителя по контейнерам с возможностью качественного регулирования его подачи, исключающей локальные перегревы высушиваемого зерна. Продувка теплоносителем с определенными рациональными параметрами обезвоживаемого материала в контейнерах с целью отделения влаги с поверхности объекта сушки и условиями равномерного нагрева всех семян, достаточной выравненностью по относительной влажности и необходимой скорости сушки. Теплоноситель, проходя через весь слой семян в контейнерах, контактирует с высушиваемым материалом, который за счет этого контакта нагревается и теряет влагу.



Рисунок 1 – Технологическая схема контейнерной сушки семян зерновых культур

В данной операции характерной особенностью нагретого атмосферного воздуха является то, что он выполняет две функции одновременно: как теплоноситель и среда, которая выносит влагу из контейнеров с семенами. Следующая операция процесса обезвоживания материала — это удаление отработавшего воздуха при помощи камеры сбора и отвода из установки, что необходимо, так как воздух является влагопоглотителем, а при высокой влажности воздуха скорость сушки значительно уменьшается и стремится к минимальному значению. При этом для отвода испаряемой влаги, которая находится в отработавшем воздухе, нужна специальная система воздухопроводов.

В заключительном периоде на конечных участках процесса сушения семенного зернового материала выполняются операции: продувка высушенных семян зерновых культур в контейнерах атмосферным воздухом для снижения температуры, при которой осуществляется сушка, до кондиционной — температуры окружающей среды и в итоге охлаждение материала. При выполнении данной операции с оптимальными физическими параметрами

процесса сушки постепенно уменьшается разница между температурой на поверхности зерновок и внутри них, сохраняются качественные показатели конечной продукции и снижаются возможные потери.

Технологическая операция на завершающем этапе процесса сушки – удаление отработавшего воздуха необходимо для осуществления всего технологического процесса, так как при выполнении продувки объекта сушки потоком воздуха его нужно обновлять, то есть проводить удаление из установки отработавшего потока в окружающую среду с одновременным забором техническим средством такого же количества свежего воздуха.

Операция выгрузки высушенного семенного зерна из сушильных емкостей является конечной и должна обеспечивать сохранность качественных показателей семян, в том числе всхожести и не допускать их травмирования.

Таким образом, описан весь технологический процесс сушки семенного зернового материала, который нужно ввести до достижения кондиционной влажности и температуры семян зерна для обеспечения относительно высокого качества, прошедших тепловую обработку семян зерновых культур.

В связи с изложенным необходимо выполнить исследования направленные на повышение эффективности процесса сушки семян зерновых культур путем разработки и обоснования параметров технического устройства для высушивания семенного материала с целью последующего производства и внедрения современного сушильного оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента РФ. «Об утверждении доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации»: [Текст]: Указ президента РФ от 21 января 2020 № 20 // Собрание законодательства РФ. – 2020. - № 4, ст. 345.
2. Крутов, В.С. Разработка и исследования установки с многоканальной системой подвода теплового потока для сушки семенного зерна в плотном и псевдооживленном слое: дисс: ... канд. техн. наук / Крутов Виктор Семенович. – Кострома, 2001. – 221 с.
3. Королев, Н.А. Повышение эффективности сушки семян зерновых культур путем совершенствования работы системы рециркуляции агента сушки в сушилках аэрожелобного типа: дисс: ... канд. техн. наук / Королев Николай Александрович. – Кострома, 2007. – 145 с.
4. Козлов, А.В. Повышение эффективности сушки семян зерновых культур в камерных сушилках напольного типа: дисс: ... канд. техн. наук / Козлов Андрей Васильевич. – Благовещенск, 2017. – 156 с.
5. Ключников, А.С. Совершенствование конвективной технологии сушки семян и конструкции сушильной камеры: дисс: ... канд. техн. наук / Ключников Артем Сергеевич. – Ярославль, 2021. – 179 с.

REFERENCES

1. Decree of the President of the Russian Federation. «On Approval of the Food Security Doctrine of the Russian Federation» : [Text]: Decree of the President of the Russian Federation No. 20 dated January 21, 2020 // Collection of Legislation of the Russian Federation. – 2020. – No. 4, Art. 345.
2. Krutov, V.S. Development and research of a unit with a multi-channel heat flow supply system for drying seed grain in a dense and fluidized bed : dis. ... cand. tech. sci. / Viktor S. Krutov. – Kostroma, 2001. – 221 p.
3. Korolev, N.A. Improving the efficiency of drying seeds of grain crops by improving the operation of the drying agent recirculation system in air chute-type dryers : dis. ... cand. tech. sci. / Nikolai A. Korolev. – Kostroma, 2007. – 145 p.
4. Kozlov, A.V. Improving the efficiency of drying seeds of grain crops in batch-type floor dryers : dis. ... cand. tech. sci. / Andrey V. Kozlov. – Blagoveshchensk, 2017. – 156 p.
5. Klyuchnikov, A.S. Improvement of convective technology for drying seeds and design of a drying chamber : dis. ... cand. tech. sci. / Artem S. Klyuchnikov. – Yaroslavl, 2021. – 179 p.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРОИЗВОДСТВА ВЕРМИКОМПОСТА В ВЕРМИИНКУБАТОРЕ

С.А. Макаров, Е.Е. Демин, Д.С. Гиевой

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, Россия

М.Д. Винокурова

Саратовский национальный исследовательский университет им. Н.Г. Чернышевского, Россия

Аннотация: В статье приведены результаты анализа технологических операций существующих технологий производства экологически чистых органических удобрений вермикомпоста с помощью вермикультуры. Выявлена операция – послойная, равномерная и периодическая загрузка субстрата в емкости для вермикомпостирования, которая повторяется несколько раз в каждой технологии и с использованием ручного труда из-за отсутствия технических средств механизации процесса. Предложена новая технологическая схема промышленного производства вермикомпоста.

Ключевые слова: субстрат, вермикультура, вермикомпост, загрузка, устройство, процесс, вермиинкубатор, технологическая схема.

Original article

TECHNOLOGICAL SCHEME OF VERMICOMPOST PRODUCTION IN A VERMIINCUBATOR

S.A. Makarov, E.E. Demin, D.S. Gievoy

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Russia

M.D. Vinokurova

Saratov National Research University named after N.G. Chernyshevsky, Russia

Abstract: The article presents the results of an analysis of technological operations of existing technologies for the production of environmentally friendly organic fertilizers – vermicompost using vermiculture. An operation has been identified – layer-by-layer, uniform and periodic loading of substrate into vermicomposting containers, which is repeated several times in each technology and involves manual labor due to the lack of technical means for mechanizing the process. A new technological scheme for industrial vermicompost production is proposed.

Keywords: substrate, vermiculture, vermicompost, loading, device, process, vermiincubator, technological scheme.

В Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации отмечаются показатели продовольственной безопасности и критерии их оценки, по которым уровень самообеспечения овощами и фруктами должен

составлять не менее 90% [1]. Для выполнения установленного критерия необходимо осуществлять комплекс мер по увеличению плодородия почв. Особое значение в выполнении поставленной цели придается органическим удобрениям. В современных условиях особую значимость приобретают экологически чистые органические удобрения — это биогумус или вермикомпост — результат переработки органических материалов растительного и животного происхождения вермикультурой. Изучение существующих технологий вермикомпостирования [2-5] позволило проанализировать операции процесса, выявить недостатки и разработать новую технологическую схему промышленного производства вермикомпоста (рисунок 1).

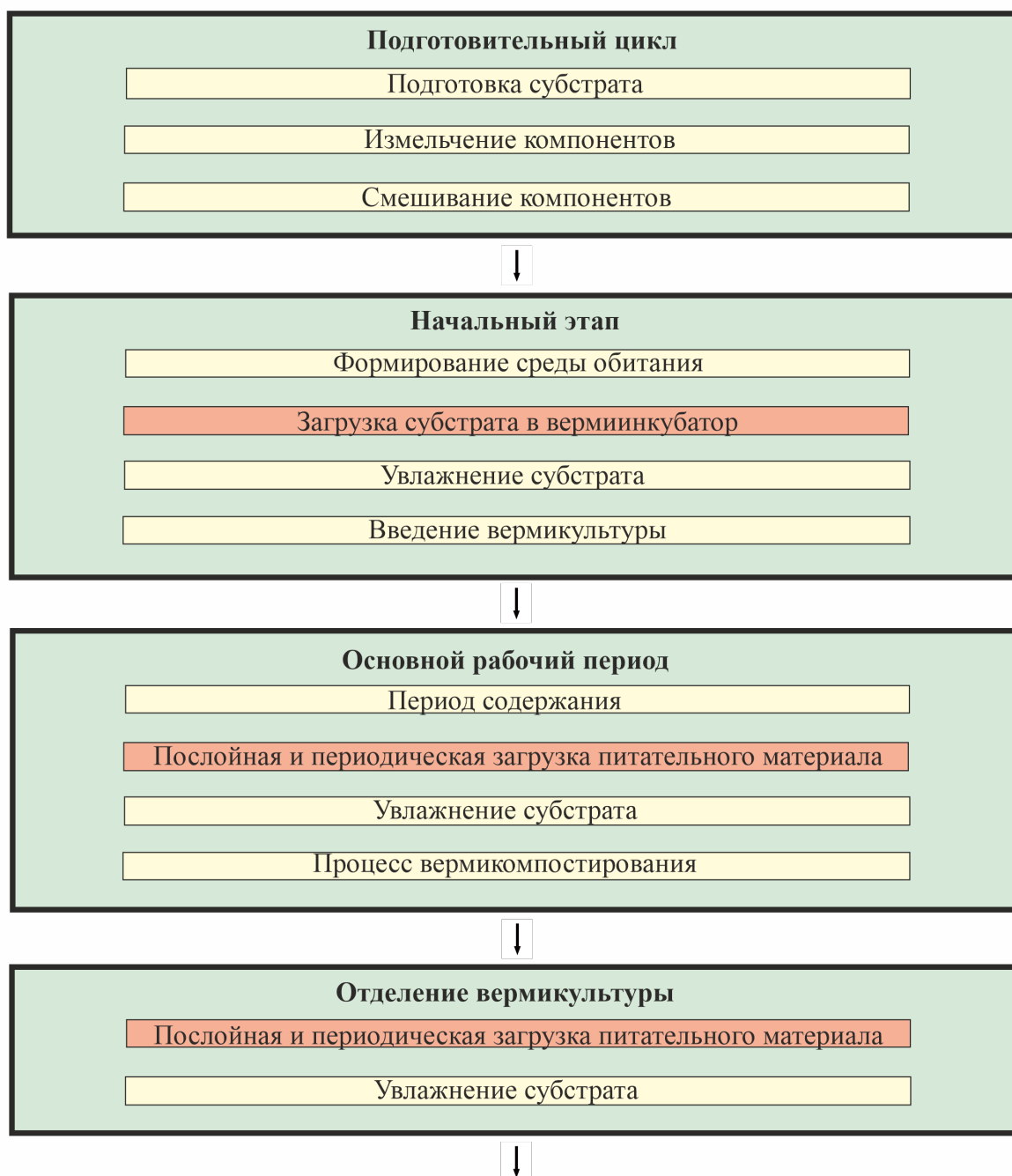




Рисунок 1. Технологическая схема производства вермикомпоста

Предлагаемая схема вермикомпостирования содержит следующие технологические операции. В подготовительный цикл входит подготовка субстрата применения по назначению, что в свою очередь включает измельчение и смешивание составляющих компонентов субстрата. Начальный этап характеризуется формированием среды обитания вермикультуры и состоит из операции: загрузка элементов субстрата в вермиинкубатор и увлажнением их до 70 – 80% относительной влажности; введение вермикультуры в подготовленный к использованию субстрат.

Основной рабочий период состоит из периода содержания и собственно процесса вермикомпостирования. Период содержания основан на двух операциях. Это послойная, равномерная и периодическая загрузка питательного материала и увлажнение субстрата до оптимальной влажности. Причем, загрузка питательного материала в вермиинкубатор должна выполняться с минимальным динамическим воздействием на среду обитания вермикультуры и саму вермикультуру.

Следующей операцией технологического процесса производства вермикомпоста является отделение вермикультуры из слоя готового продукта и перевод ее в питательную среду. При этом необходимо послойно, равномерно и периодически загружать материал, которым питается вермикультура в вермиинкубатор и увлажнять его до необходимой влажности. Загружая питательный материал в вермиинкубатор нужно учитывать тот факт, что материал под действием собственной силы тяжести не должен создавать значительные динамические нагрузки на уже имеющуюся сформированную среду обитания вермикультуры чтобы не нарушать процессы вермикомпостирования нежелательными условиями.

На стадии выемки готового вермикомпоста необходимо выполнение таких операций как: отделение его от основной среды и извлечение из вермиинкубатора. После выемки произведенного вермикомпоста прилагается его сушка до относительной влажности 55 – 60%, затем осуществляется упаковка конечного продукта по технологии производства.

Таким образом, в результате анализа технологических операций производства вермикомпоста по различным технологиям выявлено, что

существует операция – послойная, равномерная и периодическая загрузка исходного субстрата в емкости для вермикомпостирования, которая повторяется несколько раз в каждой технологии. Причем, данная операция в основном выполняется с использованием ручного труда, так как технические средства механизации процесса загрузки, отвечающие предъявляемым требованиям, отсутствуют. Даже более современные устройства для производства биогумуса не имеют механизированные загрузки субстрата в вермиинкубатор [6]. Это затрудняет производство необходимых экологически чистых органических удобрений в требуемых объемах. Поэтому необходимы исследования, направленные на разработку и обоснование параметров устройства для механизированной загрузки подготовленного субстрата в вермиинкубатор.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента РФ. «Об утверждении доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» : [Текст]: Указ президента РФ от 21 января 2020 № 20 // Собрание законодательства РФ. – 2020. - № 4, ст. 345.
2. Шишкин, И.В. Повышение эффективности технологии производства вермикомпоста путем разработки и обоснования параметров устройства по выемки: дисс: ... канд. техн. наук / Шишкин Игорь Валерьевич. – Саратов, 2026. – 137 с.
3. Патент № 2493139 Российская Федерация, МПК C05F11/00. Способ производства биогумуса с помощью красного калифорнийского червя и установка для реализации способа / Выгузов М. А., Касаткин В. В., Литвинюк Н. Ю., Выгузов И. Л., Линкевич А. С., Арсланов Ф. Р.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия». - № 2011151244/13 ; заявл. 14.12.2011 ; опубл. 20.09.2013. Бюл. № 26.
4. Патент № 2840517 Российская Федерация, СПК C05F 17/05 (2025.01) Способ и устройство промышленного получения вермикомпоста / Ватутина И. А., Смирнов К. А., Титов И. Н.; заявитель и патентообладатель ООО «Биокрафт». - № 2024123820 ; заявл. 16.08.24 ; опубл. 26.05.2025. Бюл. № 15.
5. Патент № 2228320 Российской Федерации, МПК C05F 9/00 Способ переработки твердых бытовых отходов / Максун В.А., Солдатов С.В., Стом Д.И., Никонова Т.С.; заявитель и патентообладатель Максун В.А., Солдатов С.В., Стом Д.И., Никонова Т.С. - № 2001120323/12 ; заявл. 10.07.2003 ; опубл. 10.05.2004.
6. Патент № 212304 Российская Федерация, СПК C05F 3/06 (2022.05). Устройство для производства биогумуса / Азизов И.Р., Шишкин И.В., Базганов В.А., Макаров С.А., Данилин А.В., Люляков И.В.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный университет имени Н.И. Вавилова». - № 2022107691 ; заявл. 22.03.2022 ; опубл. 15.07.2022. Бюл. № 20.

REFERENCES

1. Decree of the President of the Russian Federation. "On Approval of the Food Security Doctrine of the Russian Federation": [Text]: Decree of the President of the Russian Federation No. 20 dated January 21, 2020 // Collection of Legislation of the Russian Federation. – 2020. – No. 4, Art. 345.
2. Shishkin, I.V. Improving the efficiency of vermicompost production technology by developing and substantiating the parameters of a excavation device: dis. ... cand. tech. sci. / Igor V. Shishkin. – Saratov, 2026. – 137 p.
3. Patent No. 2493139 Russian Federation, IPC C05F11/00. Method for producing vermicompost using the red California worm and apparatus for implementing the method / Vyguzova M.A., Kasatkin V.V., Litvinyuk N.Yu., Vyguzov I.L., Linkevich A.S., Arslanov F.R.; applicant and patentee: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Izhevsk State Agricultural Academy". – No. 2011151244/13; filed 14.12.2011; published 20.09.2013, Bull. No. 26.
4. Patent No. 2840517 Russian Federation, CPC C05F 17/05 (2025.01). Method and device for industrial production of vermicompost / Vatutina I.A., Smirnov K.A., Titov I.N.; applicant and patentee: LLC "Biocraft". – No. 2024123820; filed 16.08.24; published 26.05.2025, Bull. No. 15.
5. Patent No. 2228320 Russian Federation, IPC C05F 9/00. Method for processing solid household waste / Maksunov V.A., Soldatov S.V., Stom D.I., Nikonova T.S.; applicant and patentee: Maksunov V.A., Soldatov S.V., Stom D.I., Nikonova T.S. – No. 2001120323/12; filed 10.07.2003; published 10.05.2004.
6. Patent No. 212304 Russian Federation, CPC C05F 3/06 (2022.05). Device for vermicompost production / Azizov I.R., Shishkin I.V., Bazganov V.A., Makarov S.A., Danilin A.V., Lyulyakov I.V.; applicant and patentee: Federal State Educational Institution of Higher Education "Saratov State University named after N.I. Vavilov". – No. 2022107691; filed 22.03.2022; published 15.07.2022, Bull. No. 20.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПНЕВМОТРАНСПОРТНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ЗЕРНА

Левченко Г.В., Павлов В.С., Левченко А.В.

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация: трансформация логистических цепочек в АПК диктует необходимость внедрения энергоэффективных и щадящих технологий послеуборочной обработки и перемещения зерна. Пневмотранспортные системы, обладающие высокой степенью герметичности и адаптивности, становятся безальтернативным решением для сложных пространственных трасс. Пневмотранспортные установки благодаря своей универсальности, герметичности и возможности автоматизации находят всё более широкое применение. В статье представлена систематизация пневмотранспортных установок по ключевым конструктивным и технологическим признакам: способу воздействия воздушного потока на материал, принципу создания давления и типу рабочего процесса. Рассмотрены особенности всасывающих, нагнетательных, комбинированных и аэрационных систем. Обоснована перспективность гибридных решений, в частности совмещения пневмотранспорта с винтовыми конвейерами для снижения травмирования зерна. Предложенная классификация может служить основой для выбора рациональных технических решений при проектировании транспортных систем в агропромышленном производстве.

Ключевые слова: пневмотранспорт, сыпучие материалы, классификация, всасывающая система, нагнетательная система, аэрация, псевдоожижение, винтовой конвейер.

Original article

CLASSIFICATION OF PNEUMATIC CONVEYING SYSTEMS IN AGRICULTURE

Levchenko G.V., Pavlov V.S., Levchenko A.V.

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Annotation: the transformation of supply chains in the agro-industrial sector necessitates the implementation of energy-efficient and gentle technologies for post-harvest handling and grain transportation. Pneumatic conveying systems, characterized by high airtightness and adaptability, are becoming an indispensable solution for complex spatial routes. Thanks to their versatility, airtightness, and ease of automation, pneumatic conveying installations are finding increasingly widespread

application. This article presents a systematic classification of pneumatic conveying installations based on key design and operational characteristics: the mechanism of air-material interaction, the pressure generation principle, and the type of operational process. The specific features of suction, pressure, combined, and aeration systems are examined. The viability of hybrid solutions is substantiated, particularly the integration of pneumatic conveying with screw conveyors to minimize grain damage. The proposed classification can serve as a foundation for selecting optimal technical solutions when designing conveying systems for agricultural production.

Keywords: pneumatic conveying, bulk materials, classification, suction system, pressure system, aeration, fluidization, screw conveyor.

Введение. Современные агропромышленные комплексы предъявляют высокие требования к надёжности, производительности и щадящему обращению с сельскохозяйственной продукцией при её транспортировке. В этих условиях пневмотранспортные установки становятся всё более востребованными благодаря таким преимуществам, как:

- герметичность (исключение пылеобразования и потерь);
- гибкость трассы (возможность обхода препятствий);
- простота автоматизации;
- минимальное количество движущихся частей.

Однако, разнообразие конструкций и принципов действия требует чёткой классификации, позволяющей обоснованно выбирать технические решения под конкретные задачи [1–3].

Материалы и методы. Анализ выполнен на основе систематизации научных публикаций, патентов и нормативной документации по пневмотранспорту в сельском хозяйстве. Классификация проведена по следующим признакам:

- способ воздействия воздуха на транспортируемый материал;
- принцип создания воздушного потока и давления;
- тип рабочего процесса и конструктивное исполнение.

Использованы данные из работ [4–8], а также результаты собственных исследований по гибридным транспортным системам.

Результаты и обсуждение. По способу воздействия воздуха на материал различают два принципиально разных подхода:

Аэродинамический транспорт — воздушный поток непосредственно воздействует на каждую частицу материала, увлекая её за счёт аэродинамических сил. Применяется при транспортировке зерна, семян, гранулированных кормов.

Аэрационный транспорт — воздух подаётся через микропористую перегородку, снижая внутреннее трение и приводя материал в состояние псевдооживления. Перемещение осуществляется под действием силы тяжести при небольшом уклоне (4–5%) в аэрожелобах [4, 5].

По принципу создания давления выделяют три основные системы: всасывающая; нагнетательная; комбинированная.

Всасывающие установки работают при разрежении, создаваемом вентилятором или вакуум-насосом. Преимущества:

- возможность забора материала из нескольких точек;
- отсутствие пылевыведения в зоне загрузки.

Недостаток — ограниченная дальность транспортировки (обычно до 50 м) и производительность.

Нагнетательные установки работают под избыточным давлением. Их достоинства:

- возможность транспортировки на большие расстояния (до 300 м и более);
- разветвлённая сеть трубопроводов с подачей в несколько точек выгрузки [6].

Комбинированные (всасывающе-нагнетательные) установки объединяют оба принципа. Наиболее эффективны те системы, в которых одна воздуходувная машина обеспечивает как разрежение на всасывающем участке, так и давление на нагнетательном [7]. Такие установки применяются в крупных элеваторах и перерабатывающих комплексах.

Перспективные решения

Анализ показал, что при вертикальном транспортировании чисто пневматические системы не всегда эффективны из-за высокого энергопотребления и риска повреждения зерна. В этих условиях целесообразно использовать пневмосистему в качестве вспомогательного элемента в сочетании с механическими конвейерами.

Например, при интеграции с винтовым конвейером подача воздуха создаёт разрежение в зоне транспортировки, что приводит к псевдооживлению зерновой массы. Это снижает коэффициент трения между частицами и между материалом и стенками шнека, что:

- уменьшает энергозатраты;
- снижает травмируемость зерна;
- повышает производительность [8].

Для реализации такого решения необходимы специальные исследования по согласованию режимов работы пневмо- и механической частей, а также модернизация конструкции винтового конвейера (например, введение аэрирующих отверстий в трубе шнека).

Заключение. Предложенная классификация пневмотранспортных установок позволяет системно подходить к выбору оборудования в зависимости от типа материала, расстояния транспортировки, требований к сохранности продукции и архитектуры производственного помещения.

Наиболее перспективным направлением является разработка гибридных систем, сочетающих преимущества пневмо- и механотранспорта. Особенно актуально это для вертикального перемещения зерна, где важно минимизировать механические повреждения.

Дальнейшие исследования следует направить на: оптимизацию параметров аэрации в винтовых конвейерах; разработку унифицированных модулей пневмоподдержки; оценку экономической эффективности гибридных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 31978-2012. Машины и оборудование для хранения и переработки зерна. Термины и определения.
2. Иванов А.С. Пневмотранспорт в агропромышленном комплексе. – М.: Агропромиздат, 2020. – 240 с.
3. Петров В.Н. Энергосберегающие технологии транспортирования сыпучих материалов // Тракторы и сельхозмашины. – 2021. – № 6. – С. 33–38.
4. Сидоров Е.М. Аэрационные системы в зернопереработке // Вестник РГАУ-МСХА. – 2022. – № 2. – С. 71–77.
5. Кузнецов Д.А. Псевдоожиженные слои в сельскохозяйственных технологиях // Известия вузов. АПК. – 2021. – № 4. – С. 89–95.
6. Лебедев О.В. Конструкции нагнетательных пневмосистем // Аграрная наука. – 2020. – № 8. – С. 44–49.
7. Морозов И.К. Комбинированные пневмоустановки: опыт применения // Хранение и переработка зерна. – 2023. – № 1. – С. 22–27.
8. Салихов, А. Н. Повышение эффективности вертикального транспортирования зерна путем оптимизации параметров пневмовинтового конвейера: специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Салихов Александр Николаевич. – Саратов, 2006. – 169 с.

REFERENCES

1. GOST 31978-2012. Machinery and equipment for grain storage and processing. Terms and definitions.
2. Ivanov A.S. Pneumatic transport in the agro-industrial complex. Moscow: Agropromizdat, 2020. 240 p.
3. Petrov V.N. Energy-saving technologies for the transportation of bulk materials // Tractors and agricultural machinery. – 2021. – No. 6. – pp. 33-38.
4. Sidorov E.M. Aeration systems in grain processing // Bulletin of the Russian State Agricultural Academy. - 2022. – No. 2. – pp. 71-77.
5. Kuznetsov D.A. Fluidized beds in agricultural technologies // Izvestiya vuzov. APK. – 2021. – No. 4. Pp. 89-95.
6. Lebedev O.V. Designs of pressure pneumatic systems // Agrarian Science. 2020. No. 8. pp. 44-49.
7. Morozov I.K. Combined pneumatic installations: application experience // Grain storage and processing. – 2023. – No. 1. – pp. 22-27.
8. Salikhov, A. N. Improving the efficiency of vertical grain transportation by optimizing the parameters of a pneumatic screw conveyor: specialty 05.20.01 "Technologies and means of agricultural mechanization": dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Salikhov, Alexander Nikolaevich. – Saratov, 2006. – 169 C.

ФОРМИРОВАНИЕ ВАЛКОВ ЛЕНТОЧНЫМ ВАЛКОВАТЕЛЕМ

В.Б. Ловкис, Т.А. Непарко, Н.Н. Быков

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация: в комплексе мер по повышению качества травяных кормов и обеспечению животноводства растительным белком исключительно важное значение имеет уборка и заготовка кормов из трав. На этом технологическом этапе имеются резервы сокращения потерь урожая и снижения себестоимости кормов. В связи с этим в статье представлено обоснование организации работы и схемы формирования валков ленточным валкователем.

Ключевые слова: валкователь, кормопроизводство, сено, сенаж, подбор, обрачивание, вспушивание, сгребание, валок.

Original article

FORMING ROLLS WITH A BELT ROLLER

V.B. Lovkis, T.A. Neparko, N.N. Bykov

EI "Belarusian State Agrarian Technical University", Minsk, Republic of Belarus

Abstract: harvesting and preparing grass feed is crucial in improving the quality of grass feed and providing livestock with plant protein. This stage of the process offers potential for reducing crop losses and feed costs. In this regard, the article presents the rationale for the organization of work and the scheme for forming rolls using a belt swather.

Keywords: swather, forage production, hay, haylage, picking up, turning, fluffing, raking, windrow.

В Республике Беларусь каждый сезон заготавливают большое количество травяных кормов, вкладывают значительные средства в их производство и понимают, что не имеют права терять качество или оставлять белок на поле из-за несовершенства операций подбора и валкования. Известно, что роторные и колесно-пальцевые грабли формируют валок, перемещая зеленую массу по полю, поднимая пыль, повреждая скошенные растения и оставляя часть урожая на поле [1-2]. Потери могут быть слишком значительными даже по сравнению со стоимостью новой машины [3]. В связи с чем, назрела необходимость использования новых машин, для выполнения работ по формированию валков, обеспечивающих минимальные потери и загрязнение кормов. Однако сложностей выбора не избежать – столь велики отличия у машин различных моделей и производителей в вопросах организации подбора массы, адаптации к рельефу, гибкости в эксплуатации. Анализ недостатков граблей-валкователей

ротационного или колесно-пальцевого типа, используемых в настоящее время на операции сгребания высушенной или провяленной массы привели ряд зарубежных стран к изысканию нового принципа их работы, обеспечивающего получение максимально «чистого» корма. В результате такого поиска были разработаны грабли-валкователи ленточного типа, для которых характерны высокая производительность, возможность выбора укладки валка – один или два, центральный или боковой; чистый и бережный подбор скошенной массы; заготовка силоса, сена или сенажа, позволяя валковать люцерну, сорго, пшеницу, мискантус, солому, кукурузу, а также различные травяные и бобовые культуры. Применение ленточного валкователя позволяет также: формировать один большой валок без потери качества, экономя топливо и обеспечивая необходимую загрузку кормоуборочного комбайна, пресс-подборщика и прицепа-подборщика; осуществлять заготовку кормов в более сжатые сроки; эффективно заготавливать корма при втором, третьем и последующих укосах, когда объем массы с гектара снижается.

Учитывая достоинства новых валкователей ленточного типа перед ротационными и колесно-пальцевыми граблями, становится абсолютно очевидной актуальность создания и освоения в производстве отечественного аналога валкователя, внедрение которого обеспечит повышение качества основных видов кормов, а значит – приблизит выполнение планов в кормопроизводстве Республики Беларусь.

Травы естественных лугопастбищных угодий, сеяные многолетние бобовые, злаковые и бобово-злаковые травосмеси, однолетние травы являются сырьем для заготовки сена, сенажа, силоса. Вид заготавливаемых кормов определяется в зависимости от физиологических потребностей (особенностей) соответствующей группы животных, технологий кормления, экономической состоятельности и уровня потерь сухих веществ. В организационном плане весь процесс заготовки кормов надо построить так, чтобы за счет гибкого маневрирования технологиями с учетом созревания травостоя и погодных условий каждый вид кормовых культур убирать своевременно, в зависимости от их скороспелости и фаз вегетации. Главное при этом – не делать ставку на заготовку какого-либо одного вида. Выбор технологий – за руководителями и специалистами сельскохозяйственных предприятий, в которых, исходя из реальных условий, заготавливаются необходимые высококачественные корма. При этом заготовка кормов – это цепочка, состоящая из звеньев, в которой ленточный валкователь является одним из ключевых.

Обоснование схем формирования валков ленточным валкователем. При использовании на уборке трав 9-метровой косилки-бабочки, которая оставляет после себя три валка, ленточный валкователь может подобрать три валка, положить их на середину четвертого, сделать разворот, подобрать еще и пятый, шестой, седьмой валок и также положить их на четвертый. То есть с 21 метра формируется один валок шириной примерно 3 м. Между такими валками при первом укосе расстояние получается по 18 м. Роторные грабли обычно формируют один валок каждые 9, 10, 12 или 14 м.

При втором, третьем и даже четвертом укосах стремятся получить больше массы в валке. Это можно сделать лишь за счет увеличения количества объединенных валков. Для формирования валков под рулоны и пресс-подборщик следует объединять валки с 9, 12 и 6 метров, направляя массу со всех транспортеров влево либо вправо.

Ленточный валкователь может работать с двумя или одной секцией: сложив одну боковую секцию, машина работает оставшимися двумя, направляя массу, к примеру, с центральной секции влево, с боковой вправо, либо с обеих лент вправо или влево. Предусмотрена возможность работы только с центральной секцией, предварительно сложив две боковые секции: например, при необходимости перевернуть сформированный валок, если прошел сильный дождь.

Объединение валков на больших расстояниях друг от друга. Как правило, после валкообразователя идет либо пресс-подборщик, либо силосоуборочный комбайн. После использования обычных роторных граблей, особенно при втором и третьем укосе, объема массы в валке не хватает. Приходится увеличивать скорость работы агрегата на прессовании массы, чтобы уложиться в отведенный на уборку временной интервал, или приобретать дополнительный трактор с пресс-подборщиком и использовать 2-3 единицы техники, чтобы обработать одну и ту же площадь. Например, тюковый пресс-подборщик весит примерно 11-12 тонн, для работы с которым нужен трактор мощностью 200-300 л. с. И весом так же 11-12 тонн, таким образом, 24-тонный агрегат необходимо перемещать по полю (с роторными граблями) на скорости до 15 км/ч. При такой скорости невозможно формировать максимальное количество тюков в час. Используя же ленточный валкователь, можно увеличить объем массы в валке и при этом существенно сократить количество самих валков в поле. Количество прогонов техники по полю уменьшится, а трактор с пресс-подборщиком может двигаться по полю со скоростью 4-5 км/ч, обеспечивая максимальную эффективность и производительность.

То же касается и силосоуборочных комбайнов, средняя мощность которых составляет 500-700 л. с. (в настоящее время до 800-1000 л. с.) при большом количестве расхода топлива. Поэтому делать короткие частые прогоны через все поле такими комбайнами, занимая много времени наряду с колоссальными затратами на топливо, неэффективно. При агрегатировании ленточного валкователя с тракторами мощностью 120-150 л. с. и формировании валков достаточного объема на необходимом расстоянии друг от друга, комбайн сможет передвигаться по полю со скоростью 4-5 км/ч и использовать свою мощность для измельчения массы, а не для повышения скорости.

После самоходных косилок ленточный валкователь объединяет два валка в один и тем самым сокращается количество проходов комбайна через все поле, как минимум, вдвое.

Ленточный валкователь обеспечит повышение эффективности кормоуборочной техники, которая используется после него, за счет уменьшения количества валков в поле с одновременным сохранением объема массы в этих валках. Отсутствие камней и земли в валках снижает износ компонентов машины,

то же касается и кормосмесителей, обеспечивая экономию на расходных материалах.

В некоторых сельскохозяйственных предприятиях порой третий и даже четвертый укос предпочитают оставить в поле, потому что себестоимость массы, собранной комбайном, экономически нецелесообразна. Ленточный валкователь, сгребая массу с 39 или 45 метров, предоставит возможность полностью задействовать весь потенциал полей предприятия и собрать все, что на них вырастет в течение года. Отсутствие почвенных включений и камней в валке снижает зольность валка, а при валковании люцерны листва, которая максимально богата протеинами и другими питательными веществами, остается в валке, тем самым улучшая качество корма. Это, в свою очередь, способствует улучшению здоровья животных, снижению ветеринарных расходов, увеличению надоев молока. Повышается качество самого молока, а значит, и его стоимость, а также стоимость конечной молочной продукции, которая затем будет произведена на этапе переработки.

Чистый подбор позволяет добиться отсутствия повреждения молодых побегов, и после первого укоса начинают формироваться новые побеги, а роторные грабли, работая ниже уровня стерни, повреждают их, что приводит к увеличению вегетативного периода. Всю скошенную массу подбирают без потерь.

Анализ схем формирования валков ленточным валкователем. Ленточный валкователь позволит формировать валки из любой скошенной массы, независимо от ее объема, длины и влажности, на расстоянии между ними от 9 до 45 м без потери качества массы в валке. И такая дробность очень важна, так как урожайность зеленой массы может быть такова, что после одного прохода валкователя валок будет мал для оптимальной загрузки кормоуборочного комбайна или пресс-подборщика, а после двух полных проходов – велик.

При обосновании схем работы валкователя установлено, что сегментация ленточного транспортера обеспечивает возможность более гибкой конфигурации при работе обеспечивая линейную плотность валка не менее 4 кг на 1 погонный метр. С этой целью обоснована сегментация ленточного валкователя в зависимости от урожайности прессуемой массы (таблица 1).

Таблица 1 – Линейная плотность валка в зависимости от урожайности сгребаемой массы и сегментации ленточного валкователя

Сегментация валкователя	Урожайность массы, т/га						
	2	4	6	8	10	12	14
b_p	1,78	3,56	5,34	7,12	8,90	10,68	12,46
$2/3b_p$	1,17	2,37	3,56	4,15	5,93	7,12	8,31
$1/3b_p$	0,59	1,19	1,78	2,37	2,96	3,56	4,15

При урожайности сгребаемой массы более 4,5 т/га с использованием полной ширины захвата валкователя b_p валок можно формировать не только слева и справа, но одновременно на обе стороны в соотношении 2/3 и 1/3. Это даст возможность укрупнять валки кратно не только 3, но и 2 или 1. Для

формирования валков для работы пресс-подборщиков шириной не более 1,4 м следует объединять валки с 9, 12 и 6 метров, направляя массу со всех транспортеров влево либо вправо.

Ленточный валкователь может работать с двумя ($2/3b_p$) или одной ($1/3b_p$) секцией. При урожайности убираемой массы более 6,8 т/га, сложив одну боковую секцию, машина работает оставшимися двумя, направляя массу, к примеру, с центральной секции влево, с боковой вправо, либо с обеих лент вправо или влево.

При урожайности свыше 13,5 т/га предусмотрена возможность работы только с центральной секцией, предварительно сложив две боковые секции: например, при необходимости перевернуть сформированный валок, если прошел сильный дождь.

Таким образом, используя ленточный валкователь и увеличивая объем массы в валке, существенно сократится количество самих валков в поле и количество прогонов техники по полю. А при объединении ленточным валкователем двух валков в один после самоходных косилок можно сократить количество проходов комбайна через все поле, как минимум, вдвое.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дыба, Э.В. Предпосылки к изучению влияния параметров рабочего органа сдвоенного типа колесно-пальцевым граблям на качество валкования скошенных трав / Э.В. Дыба, В.В. Микульский // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2020. – Вып. 54. – С. 145–149.
2. Дыба, Э.В. Анализ современных конструкций колесно-пальцевых граблей, применяемых для валкования травяных кормов / Э.В. Дыба, Л.И. Трофимович // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Международной научно-технической конференции РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», посвященной 100-летию со дня рождения М.М. Севернёва. – Минск. – 2021. С. 50–63.
3. Дыба, Э.В. Поиск путей повышения качества травяных кормов / Э.В. Дыба, В.В. Микульский, Т.А. Непарко // Актуальные проблемы устойчивого развития сельских территорий и кадрового обеспечения АПК: материалы Международной научно-практической конференции (Минск, 3-4 июня 2021 года) / редкол.: Н.Н. Романюк [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2021. – С. 408–413.

REFERENCES

1. Dyba, E.V. Prerequisites for studying the influence of the parameters of the working element of a double-type wheel-finger rake on the quality of swathing of mown grass / E.V. Dyba, V.V. Mikulsky // Mechanization and electrification of agriculture: interdepartmental thematic collection / RUE "SPC of the NAS of Belarus for Agricultural Mechanization". – Minsk, 2020. – Issue 54. – pp. 145-149.
2. Dyba, E.V. Analysis of modern designs of wheel-finger rakes used for swathing grass forages / E.V. Dyba, L.I. Trofimovich // Scientific and technical progress in

agricultural production: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference of the RUE "SPC of the NAS of Belarus for Agricultural Mechanization", dedicated to the 100th anniversary of the birth of M.M. Severnev. – Minsk. – 2021. pp. 50-63.

3. Dyba, E.V. Search for ways to improve the quality of grass forage / E.V. Dyba, V.V. Mikulsky, T.A. Neparko // Actual problems of sustainable development of rural areas and staffing of the agro-industrial complex: materials of the International scientific and practical conference (Minsk, June 3-4, 2021) / editorial board: N.N. Romanyuk [et al.]. - Minsk: BSATU, 2021. - P. 408-413.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛЕНТОЧНОГО ВАЛКОВАТЕЛЯ

В.Б. Ловкис, Т.А. Непарко, Н.Н. Быков

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация: В статье установлены факторы, влияющие на качество заготавливаемых кормов: погодные условия; оптимальные сроки уборки трав; высота скашивания; продолжительность полевой сушки или провяливания скошенной массы до кондиционной влажности; качество сгребания провяленной травяной массы; степень измельчения закладываемой массы; качество закладываемого сенажа и силоса; быстрое уплотнение травяных кормов до требуемой величины; процесс ферментации; качественное хранение и выемка с минимальным окислением; проведены теоретические исследования основных эксплуатационно-технологических параметров ленточного валкователя.

Ключевые слова: фактор, качество, корм, прокос, ворошение, валкователь, параметры, валок.

Original article

RESEARCH OF BELT ROLLER PARAMETERS

V.B. Lovkis, T.A. Neparko, N.N. Bykov

EI "Belarusian State Agrarian Technical University", Minsk, Republic of Belarus

Abstract: The article identifies factors influencing the quality of prepared feed: weather conditions; optimal timing for harvesting herbs; cutting height; duration of field drying or drying of the mown mass to the required humidity; quality of raking of dried grass mass; degree of grinding of the applied mass; quality of laid haylage and silage; rapid compaction of grass feed to the required size; fermentation process; high-quality storage and retrieval with minimal oxidation; Theoretical studies of the main operational and technological parameters of the belt rake were carried out.

Keywords: factor, quality, feed, swathing, tedding, rake, parameters, windrow.

Качество травяных кормов, получаемых из скошенных трав, зависит от множества факторов, основным из которых является скорость их сушки (провяливания) до кондиционной влажности. Однако, неустойчивые погодные условия, характерные для нашей республики в период сенокоса, значительно усложняют эту задачу. Так, исследованиями доказано, что при сушке в хорошую погоду общие потери сухого вещества травы колеблются от 10 до 30 %, а при неблагоприятных погодных условиях они достигают 50 % и больше, и при этом значительны и потери протеинов и других питательных веществ [1]. В

настоящее время при высоких урожаях зеленой массы в мировой практике, в частности в Западной Европе, практикуется скашивание и укладка в прокос, а не в валок, для ускорения процесса сушки, поэтому все большее количество уборочных комплексов и косилок скашивают убираемую массу в широкие прокосы с последующим их ворошением. Этот прием позволяет ускорить процесс полевой сушки на 25-35 %. В условиях республики скашивание в прокос и интенсивное ворошение прокоса позволяет получить травяные корма кондиционной влажности в более короткие сроки. Соответственно, качество такого корма высокое, в нем максимально сохраняется каротин, протеин, углеводы и другие, питательные и витаминные комплексы, влияющие на его энергетическую ценность. Дальнейшее досушивание и сохранение энергетической ценности травяных кормов во многом зависит от качества их сгребания в валки [2].

Факторы, влияющие на качество заготавливаемых кормов. Первый фактор – сроки начала заготовки. Злаковые травы начинают скашивать при достижении ими высоты 40-50 см. В это время колос только собирается выйти наружу. Заканчивают злаковые не позже, как три четверти массива зацветёт. Бобовые начинают скашивать в фазе начала бутонизации и завершают в фазе цветения. В практике заготовки кормов скашивание в основном начинают в более поздние стадии вегетации растений для так называемого набора массы. Опоздание с началом уборки на одну неделю равно потере 3,6 единицы переваримости корма, что равносильно дополнительным затратам 1,5 кг комбикорма на голову в день. Если растение переросло и полегло, то потеря составит уже 9 единиц переваримости. Важна ещё и высота среза растений. Скашивание культур производят на высоте не ниже 8 см от поверхности. Это увеличивает отрастание и урожайность следующего укоса. На практике она составляет 5+/-2 см. Отклонение от рекомендуемой высоты среза вызвано, во-первых, привычкой с советских времен заготавливать тонны и кормовые единицы, а не обменную энергию; во-вторых, для качественного среза на высоте 8-10 см нужна высокая плотность травостоя, в противном случае косилка «затирает» растения, а не косит. Для решения этой задачи требуется особый подход к севу люцерны – идеальная схема, когда растения расставлены на расстояние 8-10 см друг от друга. В большинстве случаев люцерну сеют с междурядьем 15-19 см, без уплотнения посева за счет поперечного сева или смещения сеялки в междурядье, что возможно только при использовании навигации. Высота среза, выровненность поля плюс способность подвески косилок поддерживать заданную высоту среза, а также применение ленточных валкообразователей обеспечивают снижение загрязнения корма почвой и количества находящихся в ней патогенных бактерий.

Второй фактор – качество закладываемого сенажа и силоса. Оно зависит от ряда других факторов, в первую очередь от процента содержания сухого вещества. Высокая влажность сырья повышает буферную ёмкость, что мешает быстрому закислению массы. Необходимо помнить, что из валков испарение влаги из 1 т зеленой массы составляет около 20 литров в час, а из расстеленной

массы – 100 литров. Кроме того, высокое содержание протеина также повышает буферную ёмкость закладываемой массы.

Третий фактор – степень измельчения закладываемой массы. Для кукурузного силоса оптимальная степень измельчения 4-10 мм, для силоса из злаковых и злаково-бобовых смесей – 20-40 мм, сенажа люцерны – 30-50 мм, зернового сенажа – 5-15 мм. Длина резки на кормоуборочном комбайне влияет на качество корма, т. к. от него зависит скорость трамбовки. Для управления ею требуется система автоматического изменения длины резки в зависимости от влажности растений: при снижении влажности длина резки должна уменьшаться.

Четвёртый фактор – быстрое уплотнение до требуемой величины. Основная ошибка, не позволяющая получить качественный корм, – чрезмерная толщина слоя. Большинство технологов считает, что трамбовка происходит только тогда, когда слой укладываемой массы составляет 15-20 см, но не толще 30 см. Практические тесты в США показали, что при толщине слоя 30 см при оптимальной влажности удается достичь плотности до 500 кг/м³, а при уменьшении толщины трамбуемого слоя до 10 см плотность увеличивается в 1,5 раза при том же темпе заготовки. Если плотность будет ниже 600 кг/м³, то потери за время хранения могут составить до 20-25 %. Как показывает практика, большая часть заготовленного в Республике Беларусь сенажа и силоса имеет плотность от 400-600, и только у самых передовых сельскохозяйственных предприятий до 650 кг/м³. Для того чтобы получить качественный силос, необходима плотность не ниже 700 кг/м³, и чем она выше, тем ниже потери питательной ценности. Помимо использования тяжёлой техники для эффективного повышения плотности трамбовки в последние годы стал популярен каток из железнодорожных колес.

Пятый фактор – процесс ферментации. Весь процесс силосования или сенажирования подразделяется на четыре стадии: аэробную, бактериальной ферментации, стабилизации и скармливания. Аэробная стадия характеризуется работой бактерий, использующих кислород и легкодоступные сахара. В результате выделяются углекислый газ, вода, повышается температура закладываемой массы и разрушаются белки. Вот почему необходимы качественная трамбовка и быстрое выдавливание кислорода из массы. Действие же собственно молочнокислых бактерий начинается со 2-3-го дня изоляции от кислорода. При этом все молочнокислые бактерии, находящиеся на растениях, так называемого гетероферментативного пути.

Это означает, что такая бактерия, ферментируя молекулу глюкозы или фруктозы, прежде чем образовать молекулу молочной кислоты, проходит через ряд промежуточных реакций с образованием метанола, маннитола, углекислого газа, уксусной кислоты, которые накапливаются в заготавливаемой массе, что и делает корма невкусными. Налицо неэффективное использование легкорастворимых сахаров и существенная потеря питательных веществ и энергетической ценности корма. Есть и другие виды бактерий: прямого пути ферментирования или гомоферментативного, когда бактерия напрямую, без промежуточных реакций, образует две молекулы молочной кислоты. Однако в

растениях их ничтожное количество, поэтому в расчёт они не берутся. Процесс ферментации сахаров – очень ответственный, так как от скорости и эффективности ферментации будут зависеть сохранность, питательность и качество корма. Для получения качественных кормов необходимо использование бактериальных заквасок. Современные закваски отличаются тем, что содержат четыре вида бактерий прямого пути ферментирования, так называемого гомоферментативного. В отличие от гетероферментативного при гомоферментативном пути ферментации сахаров не образуется промежуточных продуктов распада, что повышает вкусовые качества корма и позволяет более эффективно использовать сахара.

Шестой фактор – качественное хранение и выемка с минимальным окислением. В практике кормления к этому вопросу относятся без должного внимания. Между тем, даже заготовив качественные корма, из-за ошибок при вскрытии траншеи можно существенно снизить качество корма. Ни в коем случае нельзя открывать слишком большую поверхность, допустим, на 3-4 дня вперёд. Корм на открытой площади соприкасается с воздухом, а кислород, как известно, сильнейший окислитель. Положение существенно усугубляется, если выемка корма производится неправильно. В отсутствие фрезы при выемке корма из траншеи ковшом снимают корм, отрывая куски и допуская разрыхление большого количества корма. Часто бывают случаи подвоза кормов заранее, например, вечерний завоз для приготовления кормосмеси и раздачи утром. Все эти и подобные нарушения существенно снижают качество корма на кормовом столе.

Таким образом, в процессе заготовки качественных кормов необходимы строгое соблюдение и учёт всех факторов, влияющих на конечный результат.

Анализ результатов обобщенной оценки МТА. Моделируя процесс сгребания просушенной (проявленной) массы в валки ленточным валкователем на базе различных тракторов по интегральному критерию относительного удаления от цели [3, 4], определена целевая функция выбора рационального состава и режимов работы МТА для заданной технологической операции

$$\mu'_{ijsf} = \frac{N_{D_{\text{ом}ijsf}}^H + \Theta_{ijsf}^H + 3_{ijsf}^H}{N_{D_{\text{ом}ijsf}}^O + \Theta_{ijsf}^O + 3_{ijsf}^O} - 1 \rightarrow \min.$$

Произведен выбор рационального состава и режима работы агрегатов на заготовке кормов при сгребании массы на стерне нормальной влажности с удельным сопротивлением ленточного валкователя 0,7-0,9 кН/м с учетом изменения длины гона и соответствующего сочетания ленточного валкователя на базе тракторов класса 3 и 2. Расчеты произведены для трех значений длины гона L_p : 600, 800 и 1000 м. Исследованиями установлено, что между размерами участков и длинами гонов существует тесная корреляционная связь, т.е. малым площадям участков соответствуют малые длины гонов и, наоборот, большим площадям участков соответствуют большие длины гонов. В связи с этим, для комплексной оценки агрегатов приняты следующие значения площадей одного поля: 28,8, 51,2 и 80 га, соответствующие приведенным выше длинам гонов.

Исследование показало, что при длине гона 600 м оптимальным по интегральному критерию удаления от цели является агрегат «Беларус-1523»+b_p ($\mu'=0$), обеспечивающий производительность 51,8 га за смену при расходе топлива 2,46 кг/га. При увеличении длины гона до 800 м более эффективен агрегат «Беларус-1523»+b_p ($\mu'=0,01$), обеспечивающий производительность 55,26 га за смену при расходе топлива 2,47 кг/га.

При формировании валков ленточным валкователем в целом эффективен агрегат «Беларус-1221.2»+b_p, обобщенный показатель которого, начиная с длины гона 600 м, улучшается и достигает своего наилучшего значения при длине гона 1000 м ($\mu'=0$), обеспечивая производительность 58,8 га за смену при расходе топлива 2,14 кг/га.

Повышение производительности и снижение расхода топлива агрегатов при среднестатистических условиях работы вызвано снижением тягового сопротивления МТА при сегментации ленточного валкователя, увеличением рабочей скорости движения, коэффициента использования времени смены и коэффициента загрузки двигателя по мощности. Это ведет к улучшению оцениваемых показателей и, как следствие, снижению показателей идеального варианта, что в свою очередь влечет за собой изменение ранжирования агрегатов.

Выполненные расчеты позволили установить, что производительность за час эксплуатационного времени ленточного валкователя составляет от 2,85 до 8,40 га/ч, в зависимости от укоса, состояния полей и его сегментации. При первом укосе, когда объем массы велик, рекомендована рабочая скорость трактора до 13 км/ч. При втором, третьем укосе, если поля ровные, скорость может быть до 16 км/ч.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маклахов А.В., Углин В.К., Никифоров В.Е. Совершенствование технологии заготовки сена в рулонах. Владимирский земледелец. 2017. № 4 (82). С. 28-30.
2. Особенности технологий и техническое обеспечение заготовки кормов из трав и силосных культур // Официальный сайт предприятия РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» [Электронный ресурс]. – 2022.
3. Технологии и техническое обеспечение производства продукции растениеводства: учебное пособие / Т. А. Непарко, А. В. Новиков, И. Н. Шило; под общ. ред. Т. А. Непарко. – Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 199 с.
4. Непарко, Т. А. Технология и техническое обеспечение производства продукции растениеводства [Электронный ресурс]: электронное учебное пособие / Т.А. Непарко; Минсельхозпрод РБ, БГАТУ, Кафедра ЭМТП и А. – Минск: БГАТУ, 2023.

REFERENCES

1. Maklakhov A.V., Uglin V.K., Nikiforov V.E. Improving the technology of harvesting hay in rolls. Vladimirsky Zemledelets. 2017. No. 4 (82). p. 28-30.

2. Features of technologies and technical support for harvesting fodder from grasses and silage crops // Official website of the enterprise RUE "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization" [Electronic resource]. – 2022.
3. Technologies and technical support for the production of crop products: a textbook / T. A. Neparko, A. V. Novikov, I. N. Shilo; edited by T. A. Neparko. – Minsk: Information and Information Center of the Ministry of Finance, 2015. – 199 p.
4. Neparko, T. A. Technology and technical support for the production of plant products [Electronic resource]: electronic textbook / T. A. Neparko; Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Belarus, BSATU, Department of EMTP and A. – Minsk: BSATU, 2023.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИВА ШИРОКОЗАХВАТНЫМИ ДОЖДЕВАЛЬНЫМИ МАШИНАМИ НА СЛОЖНОМ РЕЛЬЕФЕ

Рязанцев А.И., Малько И.В., Антипов А.О., Евсеев Е.Ю.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», г. Коломна, Россия

Аннотация: рассмотрены технические решения повышения опорно-сцепных свойств дождевальной машиной «Фрегат» для работы на участках с пересеченным рельефом. Предложена технология полива, повышающая сцепные свойства дождевальной машины.

Ключевые слова: дождевальная машина, почвенно-рельефные условия, тягово-сцепные свойства.

Original article

IMPROVEMENT OF IRRIGATION TECHNOLOGY WITH WIDE- CAPACITY SPRINKLING MACHINES ON COMPLEX TERRAIN

Ryazantsev A.I., Malko I.V., Antipov A.O., Evseev E.Yu.

Federal State Budgetary Institution "All-Russian Scientific Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply "Raduga", Kolomna, Russia

Abstract: technical solutions for improving the traction properties of the "Frigate" sprinkler machine for operation in areas with rough terrain are considered. An irrigation technology has been proposed that improves the traction properties of a sprinkler machine.

Keywords: sprinkler, soil-relief conditions, tractive-coupling properties.

В структуре орошаемого земледелия России широко распространены многокорпусные дождевальные агрегаты — как позиционные кругового действия, так и перемещаемые фронтального типа. Такая техника обеспечивает высокое качество орошения, не требует значительных трудозатрат и позволяет охватывать большие массивы земель. Значительная часть этих машин эксплуатируется на территориях со сложными почвенными условиями и неровным рельефом.

По сравнению с иными видами сельскохозяйственной техники многокорпусные дождеватели (особенно кругового действия) находятся в более жестких эксплуатационных условиях.

Вместе с тем для «Фрегата», в отличие от прочих сельскохозяйственных машин, условия работы усложняются из-за интенсивного колебрования и ограниченных тягово-сцепных возможностей. Причина — сниженная несущая

способность увлажненных грунтов, значительная протяженность агрегата и орошаемых участков при широком диапазоне прочностных и рельефных показателей [1].

Таким образом, приоритетное направление совершенствования многокорпусных дождевальных машин — детальное изучение почвенно-рельефных условий на орошаемых землях и их влияния на технологические и технические меры повышения проходимости. В условиях неровного рельефа «Фрегат» демонстрирует недостаточно высокие тягово-сцепные характеристики.

В ходе опытов поливная норма варьировалась в пределах 290...590 м³/га. Напор на входе в систему поддерживался на уровне 0,64–0,66 МПа, контроль осуществлялся по манометрам, смонтированным у центральной опоры. Подача воды обеспечивалась насосными станциями с электрическим приводом. Машина работала без смены позиции.

Испытания в полевых условиях и в производственной обстановке проводились на протяжении всего вегетационного периода (от посева до фазы созревания).

Для количественной оценки несущей способности почвы при значениях менее 0,99 МПа использовался пенетромтр, воздействующий на грунт коническим наконечником под действием силы тяжести прибора. Показатель прочности рассчитывался по площади поперечного сечения наконечника на глубине погружения и его массе.

С целью изучения сцепных характеристик ходовой части «Фрегата» был изготовлен специализированный испытательный стенд, включающий почвенный канал (лабораторный лоток заданной длины) и колесо, закрепленное на неподвижной оси, которая фиксируется на подвижных опорных стойках. Для фиксации тягово-сцепных параметров применялся универсальный динамометр пружинного типа.

Почвенный канал заполнялся грунтом с заданными свойствами, после чего по нему прокатывалась полноразмерная модель ведущего колеса серийного «Фрегата». Это позволяло получить сравнительные данные при различной влажности.

Измерение тягово-сцепных качеств проводилось на экспериментальной установке, где колесо последовательно перемещалось по почвенному каналу. С одной стороны к неподвижной оси крепился трос с пружинным динамометром, с другой — колесо приводилось во вращение через трос, соединенный с грунтозацепом и наматываемый на вал редуктора, который приводился в действие электродвигателем.

Для фиксации момента сопротивления качению трос с динамометром подключался к грунтозацепу и валу редуктора с электромотором.

Каждый опыт повторялся трижды, результаты систематизировались в табличной форме.

До заполнения почвенного канала грунт взвешивался для точного расчета объема воды, требуемого для достижения необходимой влажности. Диапазон влажности при испытаниях составлял 60–90 %. Выбранный уровень

увлажнения поддерживался по возможности стабильным, чтобы минимизировать его влияние на изменение исследуемых параметров.

Вычисление влажности (W_p) производилось по формуле:

$$W_p = \frac{P_v - P_c}{P_v - P_n} \% \quad (1)$$

где P_v , P_c , P_n — масса буюсов: с исходной почвой, с сухой почвой и пустого соответственно.

В полевых условиях также оценивались тягово-сцепные характеристики и сопротивление качению для модернизированных ходовых систем.

Перед началом замеров поливная норма и скорость движения агрегата по склону корректировались с таким расчетом, чтобы изменение слоя дожда компенсировало различия в увлажнении почвы вдоль склона.

Исходной базой для разработки элементов технологии полива, направленной на улучшение тягово-сцепных свойств, являются данные о пространственной изменчивости дополивной влажности почвы. На их основе орошаемый массив подразделяется на зоны с относительно однородной дополивной влажностью [2].

Важным этапом предложенной технологии орошения склоновых земель «Фрегатом» является подготовка поля. Зонирование осуществляется с помощью теодолита. По периметру орошаемого круга устанавливаются постоянные вехи высотой 0,8–1,5 м.

При поливе на склоне широкозахватная дождевальная машина ориентируется поперек склона. В процессе перемещения по склону для каждой заранее выделенной зоны круга с близкими значениями дополивной влажности поливная норма корректируется согласно графику ее изменения. В результате на участки с повышенной дополивной влажностью подается уменьшенный слой осадков, а на зоны с пониженной влажностью — увеличенный.

Такая технология позволяет не только повысить проходимость агрегата, но и уменьшить риск ирригационной эрозии, обеспечить существенную экономию оросительной воды и более рационально использовать почвенную влагу.

Точное определение запасов влаги в почве — одно из ключевых условий обоснования поливных норм. Существующие методы оценки влажности можно считать приемлемыми лишь для территорий со спокойным рельефом.

На выровненных участках при сходных агротехнических условиях запасы почвенной влаги зависят от климата, типа почв и растительных особенностей.

На пересеченной местности помимо перечисленных факторов на влагозапасы влияет местоположение участков в ландшафте. Так, влажность почвы на вершине холма и в верхней части склона в зоне достаточного увлажнения может оказаться ниже, чем у подножия в более засушливой зоне.

Неравномерность увлажнения на холмистом рельефе объясняется разной интенсивностью испарения со склонов различной крутизны и экспозиции, а также перераспределением атмосферных осадков. В понижениях рельефа, как

правило, накапливается снег, сносимый с возвышенных элементов. С наветренных склонов снежный покров сдувается, на подветренных — его мощность возрастает. Поступление влаги от дождей также распределяется неравномерно.

Основой для определения элементов предлагаемой технологии полива служат графики изменения запасов почвенной влаги по склону, получаемые в ходе изысканий.

На основании этих данных строятся графики распределения поливной нормы по склону. Затем рассчитывается поправочный коэффициент поливной нормы по формуле:

$$K = \frac{m_i}{m_{\text{с}}} \quad (2)$$

где m_i — поливная норма в расчетной точке, м³/га; $m_{\text{с}}$ — поливная норма на водораздельном участке.

После этого орошаемый массив разделяется на зоны с близкими значениями коэффициента изменчивости поливной нормы. Для этого на план орошаемого участка наносятся изолинии указанного коэффициента.

По этим изолиниям проводится зонирование территории. Определяются координаты каждой зоны и средневзвешенные значения коэффициентов изменчивости поливной нормы.

На основе показателей выделенных зон разрабатывается технологическая карта полива.

Далее тягово-сцепные характеристики измеряются с помощью динамометра, который через трос соединяется, с одной стороны, с самоходной тележкой, а с другой — с неподвижным объектом, с предварительной разбивкой на делянки.

Сопротивление движению дождевальной машины, оснащенной очищающими приспособлениями, оценивалось методом тензометрирования и по показаниям манометра, фиксирующего усилие, развиваемое гидроцилиндрами привода самоходных тележек.

Сопротивление, затрачиваемое на очистку почвы P_o , определялось по выражению:

$$P_o = P - P_f \quad (3)$$

где P_f — сопротивление качению самоходной тележки, определяемое вышеуказанными методами при транспортном (поднятом) положении очищающего устройства.

Буксование δ самоходных тележек дождевальной установки рассчитывалось по зависимости:

$$\delta = \frac{n_{цд} + n_{цх}}{n_{цх}} \quad (4)$$

где $n_{цд}$ — фактическое число циклов гидропривода тележек ДМ на длине делянки;

$n_{цх}$ — теоретическое число циклов гидропривода тележек ДМ на длине деланки.

В ходе производственных испытаний проводилась оценка агроэксплуатационных показателей, удобства обслуживания, надежности фиксации очищающего устройства и функционирования толкателя в рабочем положении в соответствии с государственными стандартами и рекомендациями. Оценка влияния новой технологии полива на эксплуатационно-технологические характеристики работы «Фрегата» на орошаемых землях выполнялась исходя из условия обеспечения устойчивой и надежной работы машины при напоре на входе 0,60–0,65 МПа.

Производственные исследования в части энергетической оценки проводились в экстремальных условиях при первом проходе агрегата по ложбинным элементам поля. Для отработки и совершенствования технологии полива на плане орошаемого участка были нанесены изолинии коэффициентов изменчивости поливной нормы по склону. На основании этих изолиний орошаемый массив был разделен на две зоны с близкими значениями коэффициента изменчивости поливной нормы. Для каждой зоны определены координаты и средневзвешенный коэффициент изменчивости поливной нормы по склону. Установлено, что для зон 1 и 2 указанные коэффициенты составляют 0,6 и 1,0 соответственно.

На основе характеристик выделенных зон была составлена технологическая карта полива «Фрегата» на участке с пересеченным рельефом (рисунок 1)

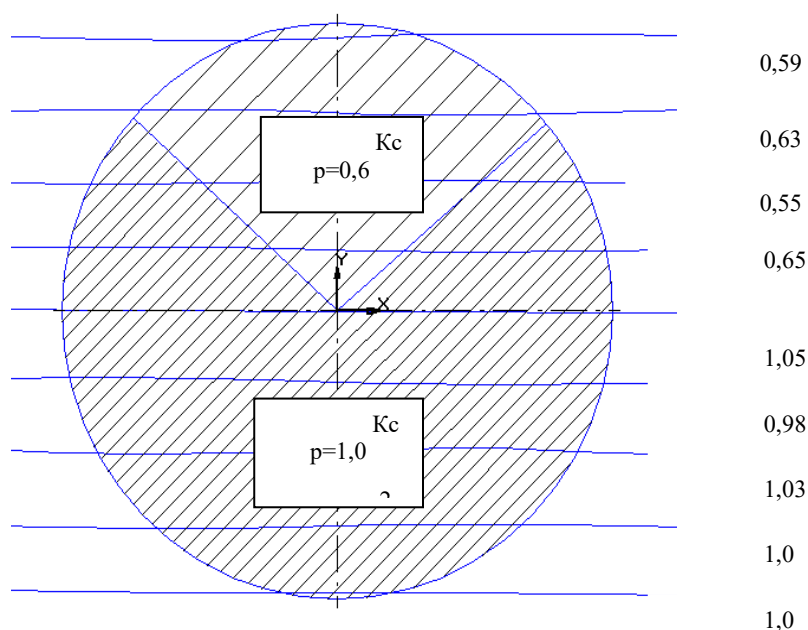


Рисунок 1. Характеристика зон участка, орошаемого машиной «Фрегат», по степени распределения предполивной влажности почвы по склону

С целью оценки эффективности предложенной технологии полива, выравнивающей влажность почвы в ложбинных элементах поля за счет регулирования поливной нормы, а также применения очищающих приспособлений на ходовой части «Фрегата», были проведены полевые испытания тягово-сцепных характеристик. Полученные экспериментальные данные хорошо согласуются с теоретическими и лабораторными результатами, расхождение не превышает допустимых показателей, а тягово-сцепные показатели на сложных участках увеличились на 30%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малько, И. В. Технология и дождевальная машина "Фрегат" с усовершенствованными ходовыми системами для полива площадей с пересеченным рельефом: специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Малько Игорь Валерьевич. – Рязань, 2006. – 126 с. – EDN NPVILL.
2. Повышение тягово-сцепных свойств ходовых систем широкозахватных дождевальных машин кругового действия "Фрегат" / А. И. Рязанцев, Н. Я. Кириленко, И. В. Малько, Ю. Н. Егоров // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2009. – № 3(34). – С. 19-22. – EDN KZOGKT.

REFERENCES

1. Malko, I. V. Technology and the Fregat irrigation machine with improved running systems for irrigating areas with rugged terrain: specialty 05.20.01 "Technologies and means of agricultural mechanization": dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Malko, Igor Valerievich. - Ryazan, 2006. - 126 p. - EDN NPVILL.
2. Improving the traction properties of the running systems of the Fregat wide-coverage pivot irrigation machines / A. I. Ryazantsev, N. Ya. Kirilenko, I. V. Malko, Yu. N. Egorov // Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin". – 2009. – No. 3(34). – pp. 19-22. – EDN KZOGKT.

ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОГРУЗЧИКА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ С ЛОПАСТНЫМ ПИТАТЕЛЕМ

П.И. Павлов, А.А. Леонтьев, И.П. Павлов, А.С. Куренков

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии
и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация: в статье приведены результаты теоретических исследований по обоснованию режимных параметров погрузчика непрерывного действия с лопастным питателем на основе оптимальной производительности. Получены аналитические выражения для определения поступательной скорости движения погрузчика и угловой скорости лопастей питателя.

Ключевые слова: погрузка, погрузчик непрерывного действия, лопастной питатель, производительность, поступательная скорость, угловая скорость.

Original article

JUSTIFICATION OF REGIME PARAMETERS OF CONTINUOUS LOADER WITH A PIPELINE FEEDER

P.I. Pavlov, A.A. Leontiev, I.P. Pavlov, A.S. Kurenkov

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after
N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Abstract: The article presents the results of theoretical studies on justifying the operating parameters of a continuous loader with a blade feeder based on optimal performance. Analytical expressions have been obtained for determining the forward speed of the loader and the angular speed of the feeder blades.

Keywords: loading, continuous loader, blade feeder, performance, forward speed, angular speed.

Введение. Основным рабочим органом погрузчиков непрерывного действия является питатель [3]. Питатель осуществляет захват груза и передачу его на отгрузочный транспортер. Одним из перспективных является лопастной питатель [1,2]. Для эффективной работы лопастного питателя (рисунок 1) необходимо правильно выбирать режимы работы, в частности, поступательную скорость. Теоретическое обоснование поступательной скорости основывается на производительности питателя.

Материалы и методы. Производительность Q (кг/с) лопастного питателя – количество материала, погружаемого в единицу времени. Поступательная скорость определяет производительность подачи – количество груза, поступающее к погрузчику при его движении в направлении бурта. Производительность питателя не может быть больше производительности

подачи. При этом производительность лопастного питателя также определяется возможностью отгрузки поступившего груза вращающимися лопастями.

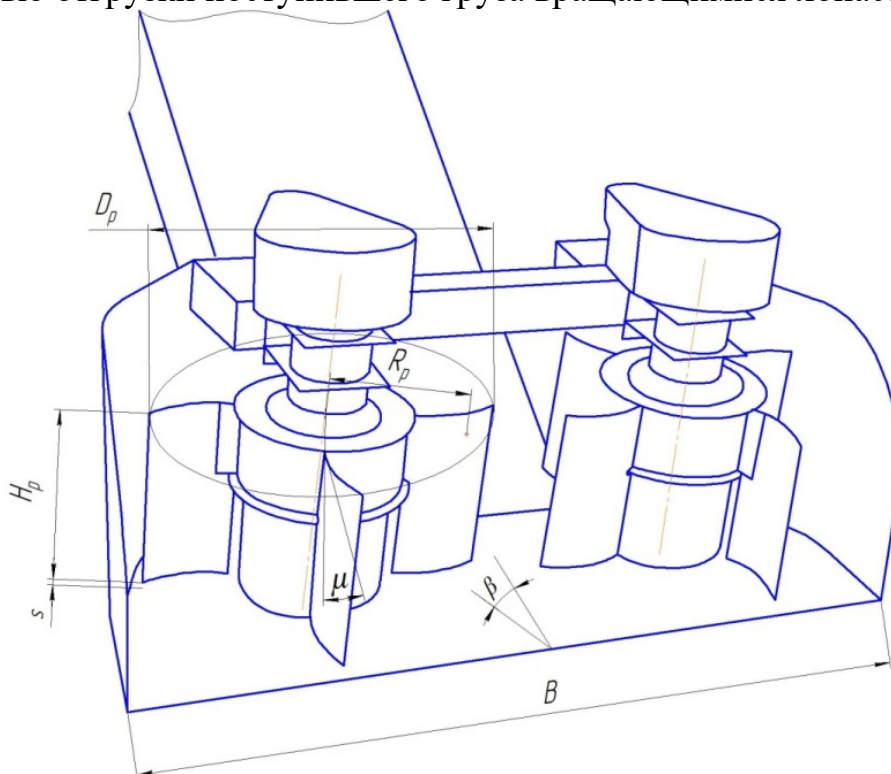


Рисунок 1 – Схема лопастного питателя погрузчика непрерывного действия.

Производительность подачи определяется по выражению [3,4]:

$$Q_n = \rho A v \quad (1)$$

где ρ – плотность груза, кг/м³; A – площадь поперечного сечения бурта, захватываемого питателем, м²; v – скорость поступательного движения погрузчика с питателем, м/с.

Производительность лопастей питателя в общем случае может быть представлена в виде:

$$Q_p = z_0 V_{\text{л}} \rho / t \quad (2)$$

где z_0 – количество лопастей, одновременно перемещающих груз;

$V_{\text{л}}$ – рабочий объем одной лопасти, м³;

t – время работы лопасти, с.

Рабочий объем лопасти $V_{\text{л}}$ (рис. 1) определим, рассматривая его как часть цилиндра с высотой, равной высоте лопасти $H_{\text{л}}$ и основанием в виде сегмента:

$$V_{\text{л}} = A_c H_{\text{л}} \quad (3)$$

где A_c – площадь условной фигуры в основании (часть круга). Площадь сегмента определяется по формуле [5]:

$$A_c = \frac{R_{\text{л}}^2}{2} (\beta_{\text{л}} - \sin \beta_{\text{л}}) \quad (4)$$

Оптимальным соотношением производительности подачи Q_n и производительности роторов Q_p [6,7] будет их равенство:

$$Q_n < Q_p \quad (5)$$

В случае выполнения данного условия вся поступающая масса груза будет захватываться и перемещаться лопастями без дополнительных энергозатрат. В результате может быть получено теоретическое обоснование рациональной скорости погрузчика.

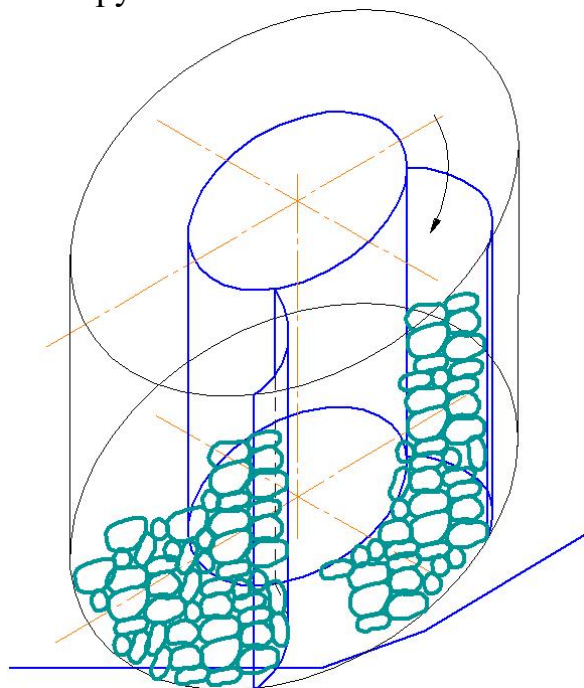


Рисунок 1 - Схема к расчету лопасти.

Результаты исследований. Подставляя Q_n в неравенство, получим:

$$\rho A v < z V_{\text{л}} \rho / t \quad (6)$$

Сокращая плотность груза, вынесем поступательную скорость:

$$v \leq \frac{z V_{\text{л}}}{A \times t} = \frac{z V_{\text{л}} n}{B H} \quad (7)$$

где $t = 1/n$, n – частота вращения лопастей, об/мин; B , H – высота, ширина бурта.

Анализ процесса работы лопасти показывает, что при погрузке заполняется не только рабочий объем лопасти, но и пространство между лопастями. Поэтому в формулу производительности введем коэффициент $K_{\text{л}}$, учитывающий данный фактор.

$$Q_p = z_0 K_{\text{л}} V_{\text{л}} \rho / t \quad (8)$$

Коэффициент заполнения межлопастного пространства $K_{\text{л}}$ определяется отношением реального объема заполнения грузом пространства между лопастями к объему лопасти, вычисленному по формуле 3. Он зависит от формы лопасти, ее радиуса или других параметров определяющих кривизну; частоты вращения и других параметров. Аналитически определить влияние всех данных факторов сложно, поэтому его значение рационально устанавливать экспериментально.

После подстановки в (4) выражения (3) получим:

$$Q_p = z_0 K_{\text{л}} H_{\text{л}} \frac{R_{\text{л}}^2}{2} (\beta_{\text{л}} - \sin \beta_{\text{л}}) \rho n \quad (9)$$

Анализ выражения (9) показывает, что производительность роторов находится в квадратичной зависимости от радиуса лопастей и прямопропорционально зависит от высоты бурта груза и частоты вращения лопастей. Однако, наличие коэффициента $K_{\text{л}}$ заполнения межлопастного пространства делает данную зависимость более сложной.

Преобразуем выражение (7) с учетом (9). Поступательная скорость погрузчика с питателем исходя из оптимального соотношения производительностей подачи и лопастей:

$$v \leq \frac{z_0 K_{\text{л}} H_{\text{л}} R_{\text{л}}^2 (\beta_{\text{л}} - \sin \beta_{\text{л}}) n}{2BH} \quad (10)$$

Выражение (10) позволяет обосновать поступательную скорость питателя с погрузчиком при различной высоте бурта и форме лопастей.

Из выражения (10) после преобразований можно обосновать угловую скорость лопастей при заданной поступательной скорости.

$$\omega \geq \frac{30z_0 K_{\text{л}} H_{\text{л}} R_{\text{л}}^2 (\beta_{\text{л}} - \sin \beta_{\text{л}}) v}{2\pi BH} \quad (11)$$

Заключение. Анализ аналитических выражений (10), (11) показывает, что режимные параметры определяются соотношением объемов поступающего груза и отгружаемого роторами. Плотность груза оказывает влияние на мощность, затрачиваемую на погрузку [8]. Полученные выражения позволяют определить производительность лопастного питателя и обосновывать режимные параметры погрузчика непрерывного действия с лопастным питателем - поступательную скорость погрузчика, угловую скорость лопастей исходя из требования по производительности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент на полезную модель № 67813 U1 Российская Федерация, МПК А01С 3/04. питатель : № 2007122108/22 : заявл. 13.06.2007 : опубл. 10.11.2007 / П. И. Павлов, П. С. Бедило, Е. Ю. Попова ; заявитель Министерство сельского хозяйства РФ Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова". – EDN FLCKFT.
2. Патент № 2202162 С2 Российская Федерация, МПК А01С 3/04, В65G 65/20. питатель : № 2001118868/13 : заявл. 06.07.2001 : опубл. 20.04.2003 / П. И. Павлов, П. С. Бедило. – EDN ZNSIDJ.
3. Хакимзянов, Р.Р. Снижение энергоемкости технологического процесса и разработка технических средств погрузки буртованных грузов: дисс.... доктора технических наук /Хакимзянов Р. Р. - Волгоград, 2013.-375 с.

4. Павлов, П.И. Научно-технические решения проблемы ресурсосбережения при использовании навозопогрузчиков непрерывного действия: дис. д-ра техн. наук: 05.20.01 / П.И. Павлов – Саратов, 2002. – 441 с.
5. Пулькин, С.П. Вычислительная математика [Текст] / С.П. Пулькин –М.: Просвещение, 1974 – 239с.
6. Павлов П.И., Экспериментальное исследование производительности погрузчика корнеклубнеплодов с лопастным питателем / П. И. Павлов, В. В. Корсак, И. П. Павлов, И. Л. Дзюбан // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 10. – С. 108-110. – DOI 10.28983/asj.y2022i10pp108-110. – EDN VFHWEL.
7. Бедило, П.С. Теоретическое обоснование производительности роторного питателя погрузчика для буртованных сельскохозяйственных грузов / П. С. Бедило, П. И. Павлов, Е. Ю. Попова // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2007. – № 5. – С. 35-36. – EDN IBUBXV.
8. Павлов, П.И. Экспериментальное исследование влияния режима работы погрузчика корнеклубнеплодов с лопастным питателем на мощность привода рабочего органа / П. И. Павлов, А. О. Везиров, И. П. Павлов // Естественные и технические науки. – 2022. – № 10(173). – С. 232-234. – EDN EYJNKO.

REFERENCES

1. Utility Model Patent No. 67813 U1 Russian Federation, IPC A01C 3/04. feeder: No. 2007122108/22: application 13.06.2007: published 10.11.2007 / P. I. Pavlov, P. S. Bedilo, E. Y. Popova; applicant Ministry of Agriculture of the Russian Federation Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Saratov State Agrarian University named after N.And. Vavilova." – EDN FLCKFT.
2. Patent No. 2202162 C2 Russian Federation, IPC A01C 3/04, B65G 65/20. feeder: No. 2001118868/13: filed 06.07.2001: published 20.04.2003 / P. I. Pavlov, P. S. Bedilo. – EDN ZNSIDJ.
3. Khakimzyanov, R.R. Reducing the energy intensity of the technological process and developing technical means of loading piled cargo: diss.... of Doctor of Technical Sciences /Khakimzyanov R. R. - Volgograd, 2013.-375 p.
4. Pavlov, P.I. Scientific and Technical Solutions to the Problem of Resource Conservation in the Use of Continuous Manure Loaders: Dissertation for the Degree of Doctor of Technical Sciences: 05.20.01 / P.I. Pavlov – Saratov, 2002. – 441 p.
5. Pulkin, S.P. Computational mathematics [Text] / S.P. Pulkin – М.: Prosveshchenie, 1974 – 239s.
6. Pavlov P.I., Experimental study of the productivity of a loader of root crops with a paddle feeder / P. I. Pavlov, V. V. Korsak, I. P. Pavlov, I. L. Dzyuban // Agrarian Scientific Journal. – 2022. – No. 10. – pp. 108-110. – DOI 10.28983/asj.y2022i10pp108-110. – EDN VFHWEL.
7. Bedilo, P.S. Theoretical substantiation of the performance of the rotary feeder of the loader for piled agricultural cargo / P. S. Bedilo, P. I. Pavlov, E. Yu. Popova // Bulletin of the Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. – 2007. – No. 5. – Pp. 35-36. – EDN IBUBXV.

8. Pavlov, P.I. Experimental study of the effect of the operation mode of a root and tuber loader with a blade feeder on the drive power of the working body / P. I. Pavlov, A. O. Vezirov, and I. P. Pavlov // Natural and Technical Sciences. – 2022. – No. 10(173). – Pp. 232-234. – EDN EYJNKO.

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА ПРИ ПЕРЕВАЛКЕ МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР

П.И. Павлов, В.А. Курунин, Н.А. Попов

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация. В статье представлен анализ условий эксплуатации ленточных конвейеров на предприятиях по переработке масличных культур (в первую очередь — подсолнечника). Выявлена главная технологическая проблема непрерывного транспорта в данной отрасли — интенсивное формирование на обкладке конвейерной ленты трудноудаляемого высокоадгезионного связно-пластичного слоя, состоящего из масличной пыли. Показано, что неэффективная работа традиционных систем очистки приводит к критическому засорению роликов холостой ветви конвейера. На основе анализа нормативной базы (Приказ Минтруда РФ № 814н) и физико-механических свойств масличных загрязнений научно обоснована необходимость разработки и внедрения новых, более эффективных автоматизированных устройств очистки щеточного типа.

Ключевые слова: Очистка, ленточный конвейер, конвейерная лента, масличные культуры, подсолнечник, очистка конвейерной ленты.

Original article

ANALYSIS OF CONVEYOR TRANSPORT OPERATING CONDITIONS DURING OILSEED HANDLING

P.I. Pavlov, V.A. Kurunin, N.A. Popov

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russia

Abstract: The article presents an analysis of the operating conditions of belt conveyors at oilseed processing enterprises (primarily sunflower). The main technological problem of continuous transport in this industry is identified: the intensive formation of a hard-to-remove highly adhesive cohesive-plastic layer consisting of oily dust on the conveyor belt cover. It is shown that the ineffective operation of traditional cleaning systems leads to critical clogging of the return rollers of the conveyor. Based on the analysis of the regulatory framework (Order of the Ministry of Labor of the Russian Federation No. 814n) and the physical and mechanical properties of oily contaminants, the need for the development and implementation of new, more efficient automated brush-type cleaning devices is scientifically substantiated.

Keywords: Cleaning, belt conveyor, conveyor belt, oilseeds, sunflower, conveyor belt cleaning.

Современный агропромышленный комплекс характеризуется устойчивым ростом объемов производства и переработки масличных культур, в первую очередь — подсолнечника. Неотъемлемым звеном технологических линий зерновых элеваторов, маслоэкстракционных заводов и портовых терминалов является непрерывный транспорт [4]. Основная нагрузка по перемещению сырья (семян подсолнечника), полуфабрикатов (мятки, мезги) и готовой продукции (шрота, жмыха) ложится на ленточные конвейеры [12].

Специфика эксплуатации конвейерного транспорта на данных предприятиях сопряжена с серьезными технологическими трудностями, главная из которых - интенсивное налипание транспортируемого материала на рабочую поверхность (обкладку) конвейерной ленты [1].

В отличие от сухих зерновых культур (пшеница, ячмень), продукты перевалки подсолнечника содержат значительное количество свободных липидов (растительных масел) [7]. При механическом воздействии на семена в процессе их загрузки, пересыпки и транспортировки происходит выделение масличной пыли. Эта пыль, смешиваясь с микрочастицами лузги и ядра, образует на поверхности конвейерной ленты высокоадгезионный связно-пластичный слой загрязнения.

При огибании лентой приводного (сбрасывающего) барабана (рис. 1) основная масса материала под действием гравитации и центробежных сил направляется в разгрузочный лоток. Однако масличная пыль, обладающая высокой силой сцепления с резиной, остается на ленте и переходит на ее нерабочую (холостую) ветвь [12].

В связи с высокой степенью опасности работ, связанных с обслуживанием непрерывного транспорта, вопросы контроля за состоянием полотна строго регламентируются на законодательном уровне. В соответствии с Приказом Министерства труда и социальной защиты РФ от 18 ноября 2020 г. № 814н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации промышленного транспорта» [8], ленточные конвейеры в обязательном порядке должны быть оборудованы устройствами скребкового или щеточного типа для очистки конвейерной ленты при транспортировании сыпучих и налипающих материалов.

Отсутствие или неэффективная работа штатных систем очистки при перевалке масличных культур приводит к критическому засорению става конвейера. Это, в свою очередь, вынуждает обслуживающий персонал предприятий систематически производить удаление налипшей масличной грязи вручную. Выполнение таких технологических операций в условиях сильной запыленности, ограниченного пространства галерей и, зачастую, вблизи движущихся механизмов является одной из главных причин тяжелых несчастных случаев на производстве.



Рисунок 1. Формирование связно-пластичного слоя загрязнения на рабочей обкладке конвейерной ленты при транспортировке подсолнечника

Таким образом, разработка и внедрение эффективного щеточного устройства, работающего в автоматическом режиме, является не только вопросом повышения экономической рентабельности и продления ресурса оборудования, но и критическим условием обеспечения безопасных условий труда обслуживающего персонала в строгом соответствии с действующим федеральным законодательством [2, 9, 10, 11].

Анализ условий эксплуатации показывает, что проблема очистки конвейерных лент при перевалке масличных культур не решена в полной мере. Налипание связно-пластичных загрязнений является основным фактором, снижающим ресурс конвейерного оборудования и рентабельность производства [3]. Это обуславливает научно-техническую необходимость разработки новых, более эффективных устройств очистки, адаптированных к сложным физико-механическим свойствам продуктов переработки подсолнечника [5, 6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бибиков П. Я. Очистка конвейерной ленты, взгляд на проблему / П. Я. Бибиков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2004. – № 3. – С. 300–302.
2. Вальщиков Ю. Н. Производство, расчет и конструирование щеточных устройств / Ю. Н. Вальщиков. – Ленинград: Изд-во ЛГУ, 1974. – 224 с.

3. Волотковский В. С. Износ и долговечность конвейерных лент / В. С. Волотковский, Е. Г. Нохрин, М. Ф. Герасимова. – Москва: Недра, 1976. – 176 с.
4. Галицкий Р. Р. Оборудование зерноперерабатывающих предприятий: учебник / Р. Р. Галицкий. – Москва: Агропромиздат, 1990. – 352 с.
5. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон. – Москва: Мир, 1989. – 510 с.
6. Евдокимов Ю. Ф. Планирование и анализ экспериментов при решении задач трения и износа / Ю. Ф. Евдокимов, В. И. Колесников, Ф. И. Тетерин. – Москва: Наука, 1980. – 228 с.
7. Копейковский В. М. Технология производства растительных масел / В. М. Копейковский, С. И. Данильчук, Г. И. Гарбузова [и др.]. – Москва: Легкая и пищевая пром-сть, 1982. – 416 с.
8. Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации промышленного транспорта: Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 18 ноября 2020 г. № 814н. – Текст: электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: [сайт]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_370575/ (дата обращения: 10.05.2026)
9. Павлов П. И. Результаты экспериментальных исследований устройства для очистки транспортерных лент / П. И. Павлов, В. А. Курунин // Инновационное техническое обеспечение агропромышленного комплекса: Материалы научно-технической конференции с международным участием имени А.Ф. Ульянова, Саратов, 03 октября 2025 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, 2025. – С. 92–95. – EDN TCHHLQ.
10. Павлов П. И. Технические средства для очистки транспортерных лент / П. И. Павлов, В. А. Курунин // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: Материалы XXXVII Международной научно-технической конференции имени В.В. Михайлова, Саратов, 15–16 мая 2024 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, 2024. – С. 245–247. – EDN QDZHWZ.
11. Павлов П. И. Экспериментальный образец устройства для очистки транспортерных лент / П. И. Павлов, В. А. Курунин // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: Материалы Международной научно-технической конференции имени В.В. Михайлова, Саратов, 28–29 мая 2025 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, 2025. – С. 228–231. – EDN PTDCTB.
12. Тарасов Ю. Д. Очистка конвейерных лент и подконвейерного пространства / Ю. Д. Тарасов. – Москва: Недра, 1973. – 192 с.

REFERENCES

1. Bibikov P. Ya. Conveyor belt cleaning: a perspective on the problem / P. Ya. Bibikov // Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). – 2004. – No. 3. – P. 300–302.
2. Valshchikov Yu. N. Production, calculation, and design of brush devices / Yu. N. Valshchikov. – Leningrad: Leningrad State University Press, 1974. – 224 p.
3. Volotkovsky V. S. Wear and service life of conveyor belts / V. S. Volotkovsky, E. G. Nokhrin, M. F. Gerasimova. – Moscow: Nedra, 1976. – 176 p.
4. Galitsky R. R. Equipment for Grain Processing Plants: Textbook / R. R. Galitsky. – Moscow: Agropromizdat, 1990. – 352 p.
5. Johnson K. Contact Mechanics / K. Johnson. – Moscow: Mir, 1989. – 510 p.
6. Evdokimov Yu. F. Design and Analysis of Experiments for Friction and Wear Problems / Yu. F. Evdokimov, V. I. Kolesnikov, F. I. Teterin. – Moscow: Nauka, 1980. – 228 p.
7. Kopeikovsky V. M. Vegetable Oil Production Technology / V. M. Kopeikovsky, S. I. Danilchuk, G. I. Garbuzova [et al.]. – Moscow: Legkaya i Pishchevaya Promyshlennost, 1982. – 416 p.
8. On the Approval of Occupational Safety Rules for the Operation of Industrial Transport: Order of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation No. 814n dated November 18, 2020. – Text: electronic // Electronic Repository of Legal and Regulatory-Technical Documents: [website]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_370575/ (accessed: May 10, 2026)

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПОРШНЕВОГО ПРЕССА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СУБСТРАТНОГО БЛОКА ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ГРИБОВ

П.И. Павлов, Д.А. Смотряков, И.Л. Дзюбан, А.В. Никулин
Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии
и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация: В статье приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований производительности гидравлического поршневого пресса предлагаемой конструкции при формировании блоков субстрата для выращивания грибов. Установлено влияние скорости движения поршня и угла сужения стенок камеры прессования на производительность формирования субстратных блоков.

Ключевые слова: грибы, субстрат, субстратный блок, формирование, производительность.

Original article

PRODUCTIVITY OF PISTON PRESS WHEN FORMING SUBSTRATE BLOCK FOR GROWING OF FUNGI

P.I. Pavlov, D.A. Smotryakov, I.L. Dzyuban, A.V. Nikulin
Saratov State University of Genetics, Biotechnology
and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Abstract: The article presents the results of theoretical and experimental studies of the performance of a hydraulic piston press of the proposed design in the formation of substrate blocks for growing mushrooms. The influence of the piston movement speed and the angle of narrowing of the pressing chamber walls on the performance of substrate block formation has been established.

Keywords: mushrooms, substrate, substrate block, formation, performance.

Введение. Одной из основных операций технологического процесса выращивания грибов является формирование субстратного блока [1-2]. Эффективность данной операции определяется рядом показателей, основным из которых является производительность. Для разработанного поршневого пресса с камерой сжатия переменного сечения [3-5] производительность также является основным показателем эффективности и определяется продолжительностью цикла.

Материалы и методы. Формирование субстратного блока поршневым прессом включает следующие операции: подача исходных материалов из загрузочного устройства в рабочее пространство корпуса; перемещение

субстрата поршнем в корпусе и его сжатие в камере прессования с формированием блока; заполнение пакета; проверка субстратного блока, упакованного в пакет.

Производительность формирования субстратного блока составит, кг/с:

$$Q = \frac{M}{t_{\text{ц}}}, \quad (1)$$

где M – масса сформированного блока;

$t_{\text{ц}}$ – суммарное время операций, или время цикла:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{п}} + t_{\text{ф}} + t_{\text{с}} + t_{\text{х}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{п}}$ – время загрузки исходных материалов;

$t_{\text{ф}}$ – время перемещения субстрата поршнем в корпусе и его сжатие в камере прессования с формированием блока;

$t_{\text{с}}$ – время на упаковку сформированного блока;

$t_{\text{х}}$ – время на подготовку, включение пресса и др.

Масса блока субстрата определяется его размерами и конечной плотностью $\rho_{\text{к}}$:

$$M = ablp_{\text{к}}, \quad (3)$$

где a, b, l – размеры по габаритам сформированного блока.

Тогда производительность Q :

$$Q = \frac{ablp_{\text{к}}}{t_{\text{п}} + t_{\text{ф}} + t_{\text{с}} + t_{\text{х}}}. \quad (4)$$

Результаты исследований. Проведены экспериментальные исследования производительности процесса прессования субстратных блоков. В качестве исходных материалов использовалась лузга подсолнечника и древесная щепа.

Исследовалось влияние скорости движения поршня и угла сужения стенок камеры прессования. Проведенные исследования производительности на лузге подсолнечника показывают, что характер зависимости носит нелинейный характер (рисунок 1). Производительность с увеличением скорости поршня в процессе формирования вначале возрастает, однако далее рост прекращается. Такое изменение связано с уменьшением времени $t_{\text{ф}}$ перемещения субстрата поршнем в корпусе и его сжатия в камере прессования с формированием блока. Однако далее влияние скорости становится менее существенным. Влияние на производительность угла сужения стенок камеры прессования связано с увеличением плотности блока. Это приводит к некоторому росту производительности, но затем это влияние прекращается.

Наибольшая производительность $1,1 \cdot (\text{т/ч})$ при использовании в качестве исходного материала лузги подсолнечника достигается при скорости $0,09-0,1$ (м/с) и угле сужения $6-7$ градусов. Далее с увеличением обоих факторов производительность практически не меняется.

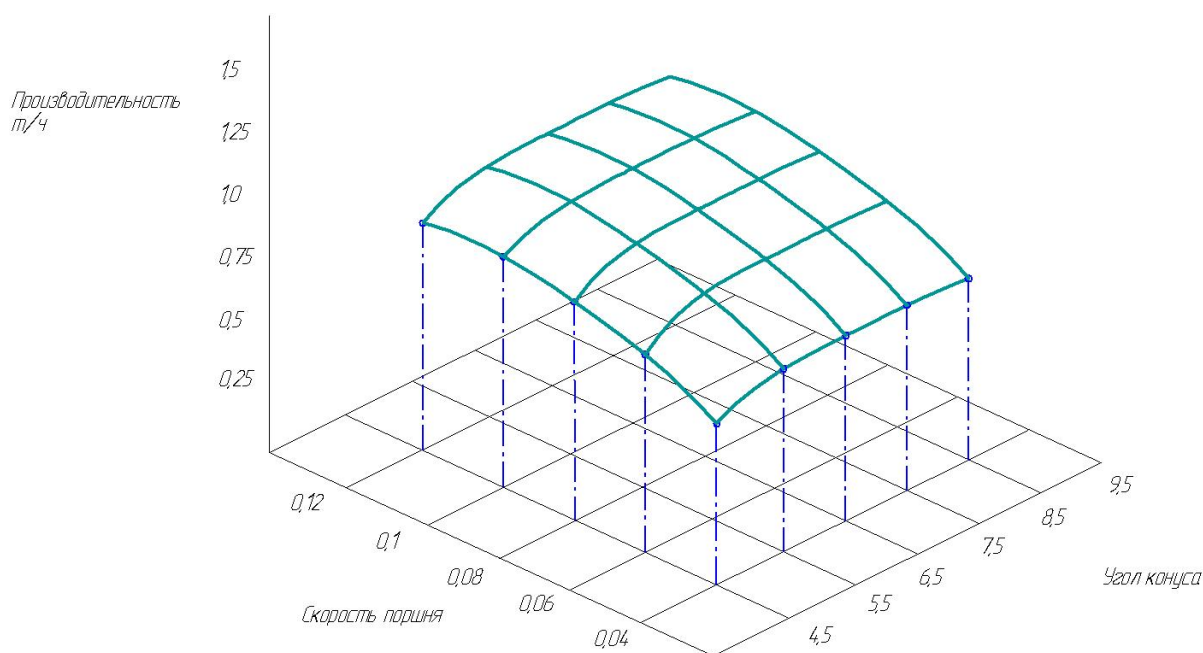


Рисунок 1. Влияние скорости движения поршня и угла сужения стенок камеры прессования на производительность формирования субстратных блоков из лузги подсолнечника

При использовании в качестве исходного материала древесной щепы характер производительности существенно меняется. Зависимость имеет максимум по обоим исследуемым факторам (рисунок 2). Максимальная производительность достигается при скорости движения поршня 0,09 (м/с) и угле сужения стенок камеры прессования 6 градусов.

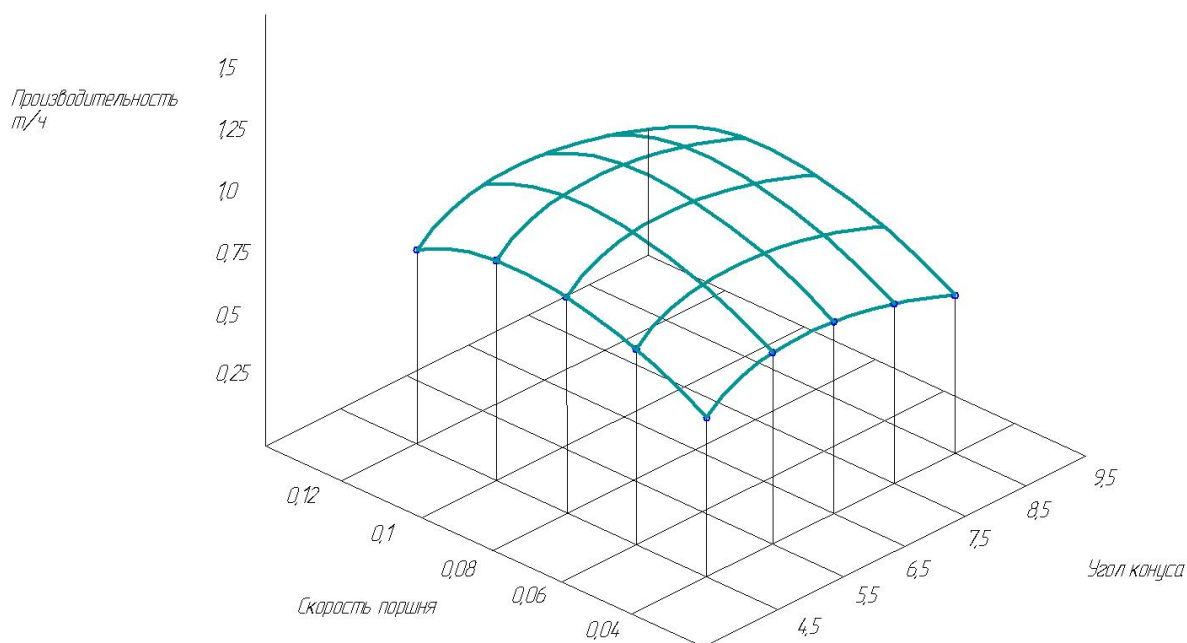


Рисунок 2. Влияние скорости движения поршня и угла сужения стенок камеры прессования на производительность формирования субстратных блоков из древесной щепы

Уменьшение или увеличение исследуемых факторов от указанных значений приводит к снижению производительности. Такая зависимость объясняется особенностями физико-механических свойств древесной щепы или опилок по сравнению с соломой и лузгой. Опилки сжимаются в гораздо меньшей степени, создавая увеличенное давление на стенки камеры сжатия. Поэтому рост скорости или угла сужения стенок больше указанных значений, снижает производительность из-за торможения блока на выходе из камеры и значительного роста усилия на поршне.

Заключение. Проведенные исследования позволили установить характер изменения и значения исследуемых факторов, при которых производительность имеет максимальное значение. Результаты исследований позволяют теоретически и экспериментально обосновывать производительность и значения параметров пресса при формировании субстратного блока для выращивания грибов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов, П. И. Исследование поршневого пресса для формирования блоков субстрата при выращивании грибов / П. И. Павлов, Д. А. Смотряков, И. Л. Дзюбан // Аграрный научный журнал. – 2024. – № 8. – С. 138–143.
2. Павлов, П. И. Теоретическое исследование процесса формирования блоков грибного субстрата в поршневом прессе / П.И. Павлов, Д.А. Смотряков, И.Л. Дзюбан // Аграрный научный журнал. – 2024. – № 10. – С. 131–137.
3. Пат. на полезную модель 219973 U1 Российская Федерация, МПК В 65 В 3/12, В 30 В 9/30. Устройство для наполнения пакетов субстратом для выращивания грибов / Смотряков Д. А., Павлов П. И., Смотряков А. А.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова». – № 2022131485; заявл. 01.12.2022; опубл. 16.08.2022, Бюл. № 23.
4. Пат. на полезную модель 2828380 С1 Российская Федерация, МПК В 30 В 9/30. Устройство для наполнения пакетов субстратом для выращивания грибов / Смотряков Д. А., Павлов П. И., Курунин В. А.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова». – № 2024107156; заявл. 19.03.2023; опубл. 10.10.2024, Бюл. № 28.
5. Павлов, П. И. Устройство для наполнения пакетов субстратом для выращивания грибов / П. И. Павлов, Д. А. Смотряков, В. А. Курунин // Проблемы и перспективы развития АПК: технические и сельскохозяйственные науки: матер. региональной науч.-техн. конф., посвящ. 110-летию Вавиловского университета. – Саратов, 2023. – С. 23–25.

REFERENCES

1. Pavlov, P. I. Investigation of a piston press for the formation of substrate blocks in mushroom cultivation / P. I. Pavlov, D. A. Smorodyakov, I. L. Dzyuban // Agrarian Scientific Journal. – 2024. – No. 8. – pp. 138-143.
2. Pavlov, P. I. Theoretical study of the process of formation of mushroom substrate blocks in a piston to the press / P.I. Pavlov, D.A. Smorodyakov, I.L. Dzyuban // Agrarian Scientific Journal. – 2024. – No. 10. – pp. 131-137.
3. Patent for utility model 219973 U1 Russian Federation, IPC 65 In 3/12, In 30 In 9/30. Device for filling bags with substrate for growing mushrooms / D. A. Smotryakov, P. I. Pavlov, and A. A. Smotryakov; applicant and patent holder of the N. I. Vavilov Saratov State University of Genetics, Biotechnology, and Engineering. – No. 2022131485 ; filed on 01.12.2022 ; published on 16.08.2022, Bulletin No. 23.
4. Patent for a utility model 2828380 C1, Russian Federation, IPC B 30 B 9/30. Device for filling bags with substrate for growing mushrooms / Smotryakov D. A., Pavlov P. I., Kurunin V. A. ; applicant and patent holder of the N. I. Vavilov Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering. – No. 2024107156 ; application no. 03/19/2023 ; publ. 10/10/2024, Bul. no. 28.
5. Pavlov, P. I. Device for filling bags with a substrate for growing mushrooms / P. I. Pavlov, D. A. Smorodyakov, V. A. Kurunin // Problems and prospects of agroindustrial complex development : technical and agricultural sciences : mater. regional scientific and technical conf., dedication. 110th Anniversary of Vavilov University. – Saratov, 2023. – Pp. 23–25.

СУШИЛКА ДЛЯ СЕМЯН ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

С.А. Шишурин, П.И. Павлов, Е.Е. Демин, Г.Е. Шардина, В.В. Васильчиков

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия.

Аннотация. В статье рассматриваются особенности выбора конструкции сушилки для семян зерновых культур с учетом предъявляемым к ним агротехническим требованиям. Предложена конструкция сушилки контурного типа для сушки семенного зерна.

Ключевые слова: сушилка для зерновых; зерносушилка; оборудование для сушки зерна; сельскохозяйственная сушилка.

Original article

DRYER FOR GRAIN SEEDS

S.A. Shishurin, P.I. Pavlov, E.E. Demin, G.E. Shardina, V.V. Vasilchikov

N.I. Vavilov Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering, Saratov, Russia.

Abstract. The article discusses the features of choosing the design of a dryer for grain seeds, taking into account the agrotechnical requirements for them. A contour-type dryer for drying seed grain is proposed.

Keywords: grain dryer; grain dryer; grain drying equipment; agricultural dryer.

В условиях роста спроса населения на продукты питания вопросы эффективного хранения зерна становятся особенно актуальным. Согласно агротехническим требованиям на длительное хранение следует засыпать зерно влажностью до 14 %. Влажность свежесобранного зерна нередко составляет 20-35 %. С увеличением влажности возрастает интенсивность дыхания зерна, увеличивается выделение теплоты и происходит самосогревание массы. Поэтому усиливаются процессы брожения, развиваются бактерии и плесень, качество зерна снижается. [1-3]

Несмотря на значительное количество выпускаемых конструкций зерносушилок, остаются нерешенные проблемы с сушкой семенного зерна в семеноводстве и селекции. Большинство выпускаемых зерносушилок рассчитаны на большие объемы зерна, поэтому имеют высокую производительность и энергоемкость. Семена, получаемые после селекционных посевов, составляют небольшие партии массой от 0,5 до 5-10 тонн.

В связи с этим, задача разработки и проектирования сушилки семенного зерна в настоящее время является актуальной и востребованной производством.

Основу предлагаемой сушилки составляют сушильные камеры (рисунок 1). Сушильная камера представляет собой емкость в виде шестигранной короткой призмы. Боковые стенки 1 выполнены из листового металла. Продольные стенки 2 выполнены в виде решет с круглыми отверстиями. Каркас выполнен из уголков, крепление решет к уголкам с помощью болтовых соединений для возможной смены. Верхнее 3 и нижнее решето закреплены шарнирно для загрузки – выгрузки. Внизу сушильной камеры имеется направляющая 4 для выгрузки на ленточный транспортер. Сушильная камера установлена на опоре 5.

Исходя из массы зерна 500 кг, помещаемого в одну сушильную камеру, определим ее объем. Средняя плотность зерна 760 кг/м³, тогда объем камеры, м³:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{500}{760} = 0,66 \quad (1)$$

Ширина камеры составляет 0,4 м. тогда площадь боковых листов составит 1,65 м². Площадь шестигранной поверхности определяется по формуле:

$$S = \frac{3\sqrt{3}}{2} a^2 \quad (2)$$

где a – длина стороны шестигранника

Тогда расчетная длина стороны, м, составит:

$$a = \sqrt{\frac{2S}{3\sqrt{3}}} = \sqrt{\frac{2 \times 1,65}{3\sqrt{3}}} = 0,8 \quad (3)$$

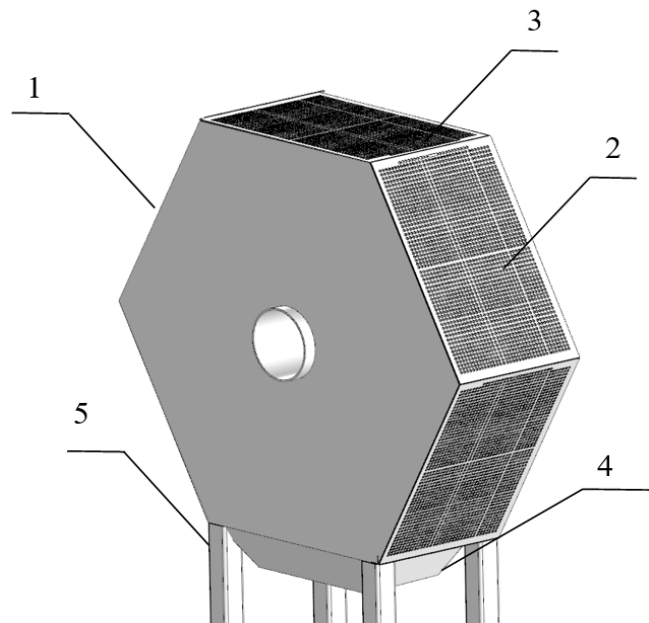


Рисунок 1 – Схема сушильной камеры: 1 – боковая стенка; 2 – решето продольной стенки; 3 - шарнирно закрепленное решето, открывающееся для загрузки; 4 – направляющая для выгрузки зерна из камеры; 5 – опора сушильной камеры

Таким образом, сушильная камера в форме шестигранной призмы для вместимости 500 кг зерна будет иметь длину 0,4 м и сторону шестигранника 0,8 м.

Преимуществами предлагаемой сушилки являются возможность эффективной и качественной сушки небольших партий зерна; возможность сушки различных партий и видов зерна в индивидуальных сушильных камерах; возможность контроля и регулировки тепловых режимов в сушилке в целом и в каждой камере отдельно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сушка, обработка и хранение зерновых культур [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sushka-obrabotka-i-hranenie-zernovyh-kultur/viewer>.
2. Технологии сушки зерна [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://tradeagrohold.ru/blog/kak-sushit-zerno-texnologiya-sushki-zerna?ysclid=mpwjtwli41800497136>.
3. Сушка зерна [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://direct.farm/post/sushka-zerna-4112>

REFERENCES

1. Drying, processing and storage of grain crops [Electronic resource] / Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/sushka-obrabotka-i-hranenie-zernovyh-kultur/viewer>.
2. Grain drying technologies [Electronic resource] / Access mode: <https://tradeagrohold.ru/blog/kak-sushit-zerno-texnologiya-sushki-zerna?ysclid=mpwjtwli41800497136>.
3. Grain drying [Electronic resource] / Access mode: <https://direct.farm/post/sushka-zerna-4112>

РАЗРАБОТКА ШАГОВОГО ТРАНСПОРТЁРА ДЛЯ МОДУЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ВЕРМИКОМПОСТА

М.А. Приданов, С.А. Макаров

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация: в статье рассматриваются вопросы разработки шагового транспортёра для модульной установки производства вермикомпоста. Проведён анализ существующих способов механизации процессов транспортирования органического субстрата и выполнено обоснование применения шагового режима перемещения массы в установках вермикомпостирования. Рассмотрены конструктивные особенности модульной установки, особенности взаимодействия транспортирующего механизма с органическим субстратом и влияние параметров движения на условия жизнедеятельности вермиккультуры. Показано, что применение шагового транспортирования позволяет снизить механическое воздействие на перерабатываемую массу, повысить стабильность технологического процесса и улучшить качество готового вермикомпоста.

Ключевые слова: вермикомпост, шаговый транспортер, переработка органических отходов, механизация, дождевые черви, органический субстрат, модульная установка.

Original article

DESIGN OF A STEPPER CONVEYOR FOR A MODULAR VERMICOMPOST PRODUCTION PLANT

S.A. Makarov, M.A. Pridanov

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering
named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Abstract: This article examines the development of a step-feed conveyor for a modular vermicomposting system. It analyzes existing methods for mechanizing the transportation of organic substrate and justifies the use of a step-feed mode for moving the substrate in vermicomposting systems. The design features of the modular plant, the specifics of the interaction between the conveying mechanism and the organic substrate, and the influence of motion parameters on the living conditions of the vermiculture are examined. It is shown that the use of step-by-step conveying reduces mechanical stress on the processed mass, increases the stability of the technological process, and improves the quality of the finished vermicompost.

Keywords: vermicompost, step conveyor, organic waste processing, mechanization, earthworms, organic substrate, modular system.

Современное развитие сельского хозяйства и агропромышленного комплекса сопровождается постоянным ростом объёмов органических отходов, образующихся в животноводстве, растениеводстве, пищевой промышленности и коммунальном хозяйстве. Одновременно возрастает потребность в экологически безопасных технологиях переработки подобных отходов с получением биологически ценных удобрений. Одним из наиболее перспективных направлений решения данной задачи является технология вермикомпостирования, основанная на переработке органического сырья дождевыми червями и комплексом микроорганизмов [1, 2].

Вермикомпостирование позволяет получать высокоэффективное органическое удобрение, содержащее гумусовые вещества, микроэлементы и биологически активные соединения, оказывающие положительное влияние на плодородие почвы и развитие растений [3]. Однако несмотря на высокую эффективность данной технологии, её широкое внедрение ограничивается недостаточным уровнем механизации производственных процессов [3]. Наиболее трудоёмкими операциями остаются перемещение органического субстрата внутри установки и выгрузка готового продукта.

Особенностью процессов вермикомпостирования является необходимость поддержания благоприятных условий для жизнедеятельности вермикультуры. Органический субстрат должен сохранять определённую влажность, пористость и структуру, а внутри перерабатываемой массы необходимо обеспечивать условия для воздухообмена и аэробного разложения органического вещества. В связи с этим применение традиционных транспортирующих механизмов не всегда позволяет обеспечить стабильность технологического процесса.

Анализ существующих конструкций показывает, что в большинстве установок используются ленточные, шнековые или скребковые транспортёры. Подобные механизмы ориентированы преимущественно на транспортирование обычных сыпучих материалов и не учитывают биологические особенности вермикомпостирования [4]. В частности, шнековые транспортёры создают интенсивное перемешивание органической массы и значительные сдвиговые нагрузки, вызывающие разрушение структуры субстрата и ухудшение условий жизнедеятельности дождевых червей [4]. Ленточные транспортёры работают в непрерывном режиме, что приводит к постоянному механическому воздействию на перерабатываемую массу и нарушению квазистационарного состояния среды [3,5].

В связи с этим возникает необходимость разработки транспортирующего устройства, способного обеспечить щадящий режим перемещения субстрата с минимальным механическим воздействием. Одним из наиболее рациональных решений является применение шагового транспортёра периодического действия [5].

Основной особенностью шагового транспортирования является чередование фаз покоя и рабочих перемещений. Большая часть времени органическая масса находится в неподвижном состоянии, благодаря чему внутри субстрата сохраняются благоприятные условия для жизнедеятельности

микроорганизмов и дождевых червей [1, 5]. Подобный режим способствует снижению уплотнения перерабатываемой массы и улучшению аэрации слоя.

Модульная установка представляет собой продольно-проточный реактор прямоугольного сечения с секционным подвижным днищем. Конструкция установки включает несущую раму, систему направляющих, подвижные секции, цепной привод и мотор-редуктор. Габаритные размеры установки составляют: длина — 3250 мм, ширина — 1300 мм, высота — 1250 мм. Рабочий объём установки равен 1,2 м³. Размер ячеек нижнего основания составляет 50×50 мм, что обеспечивает удаление избыточной влаги и поддержание условий воздухообмена.

Подвижное днище выполняет одновременно транспортирующую и технологическую функции. В процессе работы подвижные секции периодически перемещаются на ограниченную длину шага, обеспечивая постепенное продвижение слоя субстрата вдоль реактора. После завершения рабочего перемещения привод отключается и вновь начинается фаза покоя.

Важной особенностью конструкции является размещение элементов привода вне зоны непосредственного контакта с органическим субстратом. Подобное решение позволяет снизить воздействие влажной агрессивной среды на механические узлы и повысить эксплуатационную надёжность оборудования. Для изготовления несущих элементов конструкции применяется конструкционная сталь с антикоррозионным покрытием, а для подвижных секций — оцинкованная или нержавеющая сталь.

Одним из основных этапов исследования являлось определение рациональных параметров шагового режима. При выборе длины шага и скорости рабочего хода учитывались физико-механические свойства органического субстрата [2, 4], его влажность, склонность к уплотнению и чувствительность вермикультуры к механическим воздействиям.

В результате анализа установлено, что наиболее рациональная длина шага составляет 150–250 мм. При меньших значениях увеличивается количество рабочих циклов транспортёра и возрастает энергопотребление привода. При чрезмерном увеличении длины шага возрастают динамические нагрузки и внутренние деформации слоя субстрата [4].

Скорость рабочего хода была выбрана в пределах 0,02–0,05 м/с. Подобный диапазон обеспечивает плавное перемещение органической массы без ударных воздействий и резких ускорений. При более высоких скоростях увеличивается механическое воздействие на перерабатываемую массу и возрастает вероятность повреждения дождевых червей. Выбор скорости рабочего хода шагового транспортёра в пределах 0,02–0,05 м/с обусловлен необходимостью обеспечения плавного перемещения органического субстрата без возникновения значительных динамических нагрузок и резких сдвиговых деформаций внутри слоя. При меньших скоростях снижается производительность транспортирования и возрастает продолжительность рабочего цикла, тогда как увеличение скорости приводит к росту инерционных воздействий на перерабатываемую массу и повышению вероятности повреждения дождевых червей.

С точки зрения механики процесса скорость рабочего хода определяется зависимостью:

$$v = \frac{s}{t}$$

где: v – скорость рабочего хода, м/с; s – длина шага транспортёра, м; t – время выполнения рабочего перемещения, с.

При длине шага 0,15–0,25 м и продолжительности рабочего перемещения 5–8 с скорость транспортирования составляет 0,02–0,05 м/с. Подобный диапазон обеспечивает плавное продвижение слоя субстрата, снижение ударных нагрузок и сохранение структуры органической массы [4, 5].

Кроме того, ограничение скорости позволяет уменьшить ускорения в начале и конце рабочего хода. Это особенно важно для процессов вермикомпостирования, поскольку дождевые черви чувствительны к резким механическим воздействиям и локальным деформациям субстрата. Проведённый анализ показал, что выбранный диапазон скоростей обеспечивает устойчивую работу транспортёра при сохранении благоприятных условий жизнедеятельности вермикультуры.

Применение шагового транспортёра позволяет существенно повысить стабильность технологического процесса. Благодаря периодическому режиму работы снижается механическое воздействие на субстрат, сохраняется структура органической массы и улучшаются условия аэрации [2, 3]. Дополнительным преимуществом является снижение энергозатрат, поскольку привод работает не непрерывно, а только в моменты выполнения рабочего хода.

Практическая значимость разработки заключается в возможности создания компактных модульных установок для переработки органических отходов в фермерских хозяйствах, тепличных комплексах и на предприятиях агропромышленного комплекса. Предлагаемая конструкция может использоваться как самостоятельная технологическая линия либо как составная часть комплексных систем переработки органического сырья.

Таким образом, проведённое исследование подтверждает перспективность применения шагового транспортирования в технологиях вермикомпостирования. Разработанная конструкция позволяет обеспечить щадящий режим перемещения органического субстрата, сохранить благоприятные условия жизнедеятельности вермикультуры и повысить эффективность механизации процесса переработки органических отходов [1,5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврилюк, В. П. Биоконверсия органических отходов в сельском хозяйстве / В. П. Гаврилюк. — Москва: Инфра-М, 2018. — 256 с.

2. Данилин, А. В. Биотехнологические основы переработки органического сырья / А. В. Данилин, М. А. Приданов. — Саратов: Вавиловский университет, 2025. — 152 с.
3. Куликов, М. В. Технологии переработки органических отходов агропромышленного комплекса / М. В. Куликов. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 312 с.
4. Макаров, С. А. Использование органических ресурсов в растениеводстве / С. А. Макаров, А. В. Данилин, М. А. Приданов. — Саратов: Вавиловский университет, 2025. — 214 с.
5. Никитин, А. В. Современные технологии производства органических удобрений / А. В. Никитин. — Москва: КолосС, 2017. — 198 с.
6. Орлов, Д. С. Экология и переработка органических отходов / Д. С. Орлов, В. Д. Васильев. — Москва: Юрайт, 2019. — 287 с.

REFERENCES

1. Gavrilyuk, V. P. Bioconversion of Organic Waste in Agriculture / V. P. Gavrilyuk. — Moscow: Infra-M, 2018. — 256 p.
2. Danilin, A. V. Biotechnological Foundations of Organic Raw Material Processing / A. V. Danilin, M. A. Pridanov. — Saratov: Vavilov University, 2025. — 152 p.
3. Kulikov, M. V. Technologies for Processing Organic Waste from the Agro-Industrial Complex / M. V. Kulikov. — St. Petersburg: Lan, 2021. — 312 p.
4. Makarov, S. A. Use of Organic Resources in Crop Production / S. A. Makarov, A. V. Danilin, M. A. Pridanov. — Saratov: Vavilov University, 2025. — 214 pp.
5. Nikitin, A. V. Modern Technologies for the Production of Organic Fertilizers / A. V. Nikitin. — Moscow: KolosS, 2017. — 198 pp.
6. Orlov, D. S. Ecology and Processing of Organic Waste / D. S. Orlov, V. D. Vasilyev. — Moscow: Yurait, 2019. — 287 pp.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНИКИ ДЛЯ УБОРКИ НАВОЗА КАК ФАКТОР СНИЖЕНИЯ ЗАТРАТ

Б.Д. Сарбалина

Западно- Казахстанский аграрно-технический университет имени
Жангирхана.

Аннотация: в статье рассматриваются пути совершенствования эксплуатации техники для уборки навоза на современных животноводческих предприятиях. Отмечается, что эффективная работа навозоуборочных систем влияет на санитарное состояние помещений, продуктивность животных и снижение производственных затрат. Проанализированы основные причины высоких эксплуатационных расходов: износ оборудования, несвоевременное обслуживание, высокое энергопотребление и недостаточная автоматизация. Особое внимание уделено внедрению планово-предупредительного обслуживания, энергоэффективных приводов и автоматизированных систем уборки. Установлено, что комплексный подход позволяет снизить эксплуатационные затраты на 20–30 %, повысить надежность техники и производительность труда.

Ключевые слова: навозоуборочная техника, эксплуатация машин, механизация животноводства, снижение затрат, техническое обслуживание, автоматизация, энергоэффективность, производительность труда.

Original article

IMPROVING THE OPERATION OF MANURE REMOVAL EQUIPMENT AS A FACTOR IN COST REDUCTION

B.D. Sarbalina

Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian and Technical University,
Oral, Kazakhstan

Abstract: The article discusses ways to improve the operation of manure removal equipment at modern livestock enterprises. It is noted that the efficient functioning of manure handling systems affects sanitary conditions, animal productivity, and the reduction of production costs. The main causes of high operating expenses are analyzed, including equipment wear, untimely maintenance, high energy consumption, and insufficient automation. Particular attention is paid to preventive maintenance systems, energy-efficient drives, and automated manure removal technologies. The study found that an integrated approach can reduce operating costs by 20–30%, improve equipment reliability, and increase labor productivity.

Keywords: manure removal equipment, machine operation, livestock mechanization, cost reduction, maintenance, automation, energy efficiency, labor productivity.

Введение. Современное животноводство характеризуется высокой концентрацией поголовья и значительными объемами образования навоза. Эффективная организация его уборки является важным условием обеспечения санитарно-гигиенических требований, повышения продуктивности животных и снижения себестоимости продукции.

На многих сельскохозяйственных предприятиях значительная часть затрат приходится на эксплуатацию техники для уборки навоза. Это связано с высоким износом оборудования, несвоевременным техническим обслуживанием, перерасходом электроэнергии и топлива, а также низким уровнем автоматизации процессов. В связи с этим совершенствование эксплуатации навозоуборочной техники приобретает особую актуальность.

Целью данной работы является анализ способов повышения эффективности эксплуатации техники для уборки навоза и выявления факторов снижения эксплуатационных затрат.

Роль навозоуборочной техники в современном животноводстве

В условиях современного животноводства механизация процессов удаления навоза является неотъемлемой частью технологического цикла производства продукции. На крупных молочно-товарных фермах и свиноводческих комплексах ежедневно образуются значительные объемы навоза, своевременное удаление которого необходимо для поддержания санитарно-гигиенических условий содержания животных [1]. Пример организации механизированной системы удаления навоза представлен на рисунке 1.

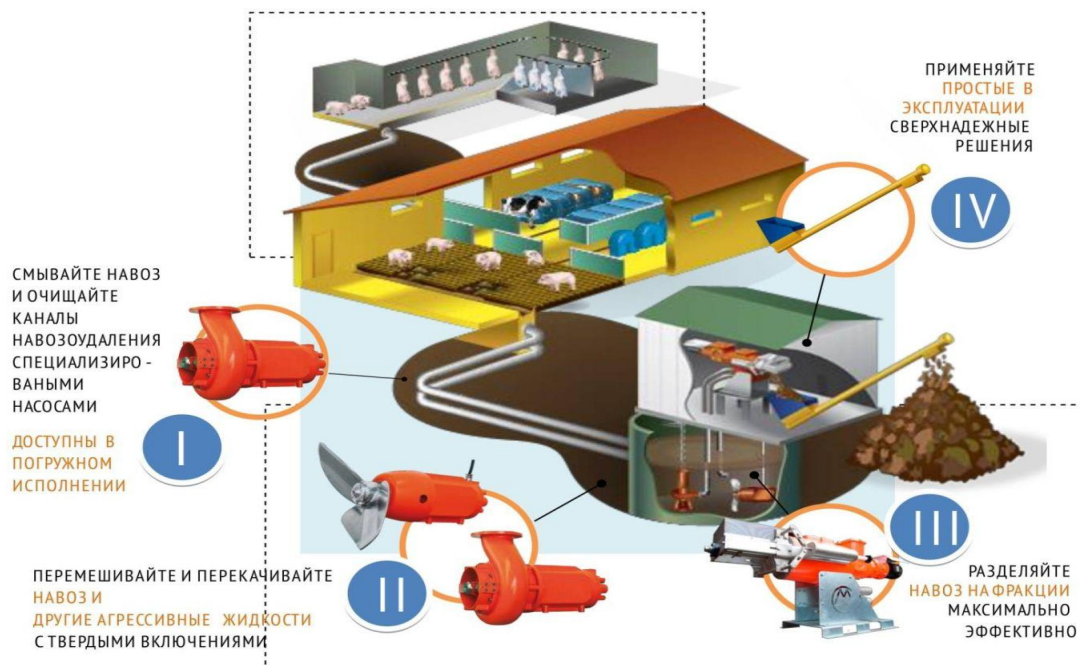


Рисунок 1. Схема механизированной системы уборки навоза на животноводческой ферме

Нарушение работы навозоуборочных систем приводит к ухудшению микроклимата помещений, повышению влажности воздуха, накоплению

вредных газов и увеличению риска распространения инфекционных заболеваний.

Эффективная эксплуатация техники для уборки навоза оказывает непосредственное влияние на производительность труда работников, состояние животных и экономические показатели предприятия. Использование современных механизированных систем позволяет существенно сократить долю ручного труда, повысить скорость выполнения технологических операций и снизить себестоимость животноводческой продукции [2].

Наиболее распространенными средствами механизации удаления навоза являются скребковые транспортеры, цепочно-планчатые установки, шнековые механизмы, гидравлические системы, мобильные навозоуборочные машины и автоматизированные роботизированные комплексы (рисунок 2).



Рисунок 2. Основные виды навозоуборочного оборудования

Каждый из указанных видов оборудования имеет свои преимущества и особенности эксплуатации. Однако независимо от типа техники эффективность ее использования во многом определяется правильной организацией технического обслуживания и соблюдением режимов работы.

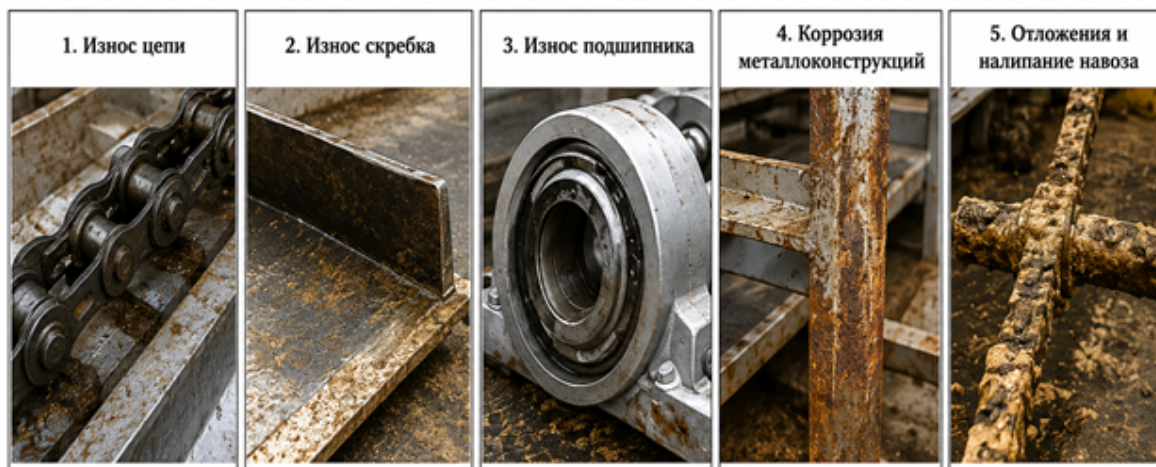
Анализ эксплуатационных затрат навозоуборочной техники

Эксплуатация навозоуборочного оборудования сопровождается значительными материальными затратами. К основным видам расходов относятся затраты на электроэнергию и топливо, расходы на техническое обслуживание, стоимость ремонта и запасных частей, оплата труда обслуживающего персонала, а также расходы, связанные с простоями оборудования.

На многих животноводческих предприятиях доля затрат на эксплуатацию оборудования ежегодно увеличивается. Основной причиной этого является

высокая степень износа техники и использование устаревших систем механизации [3].

Работа навозоуборочных установок осуществляется в сложных условиях повышенной влажности и агрессивной среды, содержащей химически активные вещества. Это ускоряет процессы коррозии металлических деталей и снижает срок службы оборудования. Особенно интенсивному износу подвергаются цепи, скребки, подшипники, редукторы и элементы привода, как показано на рисунке 3.



Агрессивная среда: высокая влажность, аммиак, сероводород, органические кислоты ускоряют коррозию и износ деталей, снижают срок службы оборудования.

Рисунок 3. Износ рабочих элементов навозоуборочной установки

Кроме того, значительное влияние на уровень затрат оказывает несвоевременное проведение технического обслуживания. На практике многие хозяйства выполняют ремонт только после возникновения неисправностей, что приводит к аварийным остановкам техники и дополнительным финансовым потерям.

Нарушение правил эксплуатации также является одной из причин повышения расходов. Перегрузка оборудования, несоблюдение графиков работы, неправильная настройка механизмов и использование изношенных деталей приводят к снижению производительности и увеличению потребления электроэнергии.

Влияние технического обслуживания на эффективность работы оборудования.

Одним из важнейших направлений совершенствования эксплуатации навозоуборочной техники является организация планово-предупредительного технического обслуживания.

Система технического обслуживания представляет собой комплекс мероприятий, направленных на поддержание работоспособности оборудования, предупреждение неисправностей и продление срока службы машин. Основные этапы технического обслуживания представлены на рисунке 4.



**Рисунок 4. Этапы технического обслуживания
навозоуборочной техники**

Регулярное проведение профилактических мероприятий позволяет значительно снизить уровень аварийности оборудования. Практический опыт показывает, что своевременное обслуживание сокращает затраты на ремонт на 15–25 % и способствует увеличению срока эксплуатации техники.

Особое значение имеет внедрение современных методов диагностики, включая использование датчиков контроля температуры, вибрации и нагрузки. Такие системы позволяют выявлять неисправности на ранних стадиях и предотвращать серьезные повреждения оборудования [4].

Автоматизация как средство снижения затрат.

Одним из наиболее эффективных направлений повышения экономичности эксплуатации навозоуборочной техники является автоматизация технологических процессов.

Современные автоматизированные системы позволяют осуществлять удаление навоза без постоянного участия человека. Использование программируемых систем управления обеспечивает оптимальный режим работы оборудования и снижает вероятность ошибок со стороны персонала.

Автоматизация дает такие преимущества, как снижение трудоемкости работ, уменьшение количества обслуживающего персонала, повышение стабильности работы оборудования, сокращение времени уборки, снижение расхода электроэнергии и уменьшение количества аварийных ситуаций.

На крупных животноводческих комплексах все более широкое распространение получают роботизированные скреперные установки, пример которых представлен на рисунке 5.



Рисунок 5. Роботизированная установка для автоматической уборки навоза

Они способны автоматически перемещаться по заданному маршруту и обеспечивать регулярную очистку помещений.

Дополнительный экономический эффект достигается за счет применения частотно-регулируемых электроприводов. Использование частотных преобразователей позволяет изменять скорость вращения двигателей в зависимости от нагрузки, что способствует снижению энергопотребления и уменьшению механического износа оборудования.

Энергоэффективность навозоуборочных систем.

В современных условиях роста стоимости энергоресурсов особое значение приобретает повышение энергоэффективности оборудования.

На животноводческих предприятиях значительная часть электроэнергии расходуется именно на работу систем удаления навоза. Поэтому снижение энергозатрат является важным резервом уменьшения себестоимости продукции.

Основными способами повышения энергоэффективности являются использование современных электродвигателей, внедрение автоматических систем управления, оптимизация режимов работы оборудования, снижение времени холостого хода, своевременная регулировка механизмов, а также уменьшение трения и механических потерь.

Рациональное использование оборудования позволяет не только сократить расходы на электроэнергию, но и снизить нагрузку на элементы привода, что положительно влияет на долговечность техники.

Роль квалификации персонала в повышении эффективности эксплуатации.

Даже современное оборудование не обеспечивает высокой эффективности без грамотной эксплуатации. Поэтому важным условием снижения затрат является повышение квалификации работников, обслуживающих навозоуборочную технику.

Подготовленный персонал способен своевременно выявлять неисправности, правильно регулировать оборудование, соблюдать режимы

эксплуатации, предотвращать аварийные ситуации и выполнять техническое обслуживание в полном объеме.

Регулярное обучение операторов и механиков способствует снижению числа поломок и увеличению срока службы техники. Кроме того, квалифицированные работники обеспечивают более рациональное использование электроэнергии и расходных материалов.

Экономическая эффективность совершенствования эксплуатации.

Совершенствование эксплуатации техники для уборки навоза оказывает положительное влияние на экономические показатели животноводческого предприятия.

В результате внедрения современных методов эксплуатации достигаются снижение расходов на ремонт и техническое обслуживание, сокращение затрат на электроэнергию, уменьшение простоев оборудования, повышение производительности труда и увеличение срока службы техники.

Результаты модернизации и снижения эксплуатационных затрат представлены на рисунке 6.

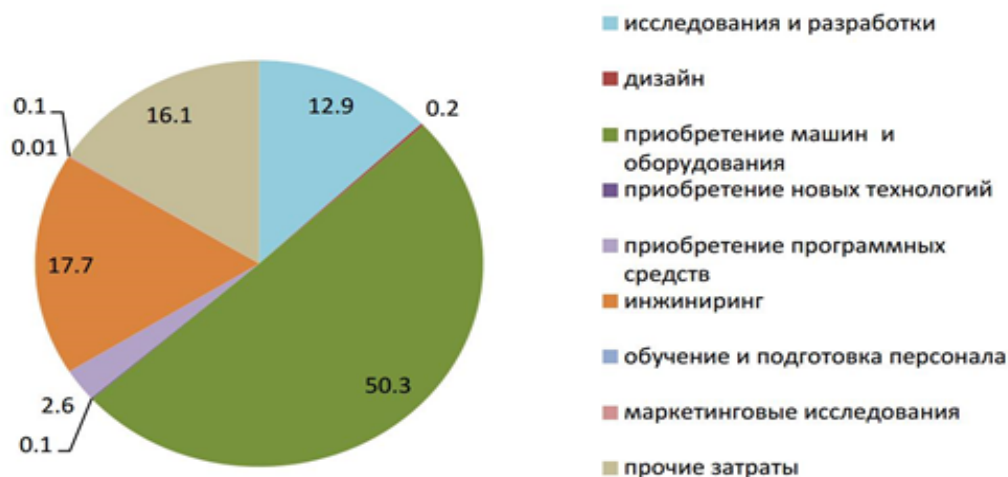


Рисунок 6. Снижение эксплуатационных затрат после модернизации системы уборки навоза

Экономические расчеты показывают, что комплексная модернизация системы эксплуатации навозоуборочного оборудования позволяет сократить эксплуатационные расходы в среднем на 20–30 %.

При этом срок окупаемости затрат на модернизацию составляет от 2 до 5 лет в зависимости от масштабов предприятия и уровня автоматизации.

Кроме экономического эффекта, совершенствование эксплуатации техники способствует улучшению условий труда работников и повышению экологической безопасности производства. Своевременное удаление навоза уменьшает загрязнение окружающей среды и снижает риск распространения вредных микроорганизмов [5].

Таким образом, повышение эффективности эксплуатации навозоуборочной техники является одним из ключевых факторов устойчивого развития современного животноводства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кленин Н.И., Сакун В.А. Техническое обслуживание машин в животноводстве. — М.: Колос, 2020.
2. Лычев В.Г. Механизация животноводческих ферм. — СПб.: Лань, 2021.
3. Тарасенко А.П. Эксплуатация машинно-тракторного парка. — Воронеж: ФГОУ ВПО, 2019.
4. Баженов В.И. Современные технологии механизации животноводства. — М.: Агропромиздат, 2022.
5. Журнал «Механизация и электрификация сельского хозяйства». — 2023.

REFERENCES

1. Klenin, N.I., Sakun, V.A. Tekhnicheskoe obsluzhivanie mashin v zhivotnovodstve. — M.: Kolos, 2020. — 256 s.
2. Lychev, V.G. Mekhanizatsiya zhivotnovodcheskikh ferm. — SPb.: Lan', 2021. — 312 s.
3. Tarasenko, A.P. Ekspluatatsiya mashinno-traktornogo parka. — Voronezh: FGOU VPO, 2019. — 280 s.
4. Bazhenov, V.I. Sovremennyye tekhnologii mekhanizatsii zhivotnovodstva. — M.: Agropromizdat, 2022. — 340 s.
5. Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva. — 2023. — № 5. — S. 15–21.

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОГО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПЛУГА

В.М. Бойков, Е.С. Нестеров, С.В. Старцев, А.В. Павлов

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов

Аннотация: Рассмотрена конструкция и технические характеристики разработанного экспериментального плуга ПБН-3,3, проанализированы результаты сравнительных испытаний пахотных агрегатов Т-150К+ПЛН-5-35 (серийный плуг) и Т-150К+ПБН-3,3 (новый экспериментальный плуг).

Ключевые слова: плуг, пахотный агрегат, технология, вспашка почвы, глубина обработки, расход топлива, ширина захвата, производительность.

Original article

STUDY OF A NEW EXPERIMENTAL PLOW

V. M. Boykov, E. S. Nesterov, S. V. Startsev, A. V. Pavlov

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Abstract: The design and technical characteristics of the developed experimental plow PBN-3.3 are considered, the results of comparative tests of plowing units T-150K+PLN-5-35 (serial plow) and T-150K+PBN-3.3 (new experimental plow) are analyzed.

Key words: plow, plowing unit, technology, soil plowing, processing depth, fuel consumption, working width, productivity.

Начиная с 1995 года в Вавиловском университете ведутся работы по разработке новых технологий основной обработки почвы с целью повышения производительности пахотных агрегатов при увеличении плодородия почвы. На базе ранее проведенных исследований и созданных новых почвообрабатывающих орудий [1,2,3-7] была разработана новая технология и экспериментальный плуг ПБН-3,3 (рисунок 1) для агрегатирования с тракторами тягового класса 3.

Плуг ПБН-3,3 предназначен для основной обработки почвы под зерновые и технические культуры на глубину до 30 см. Ширина захвата этого плуга составляет 3,3 м.

Исследования ПБН-3,3 проводились в начале сентября 2025 года на полях УНПО «Поволжье» Вавиловского университета. Почва – каштановая, суглинистая. Фон поля – стерня озимой пшеницы высотой до 35 см. Твердость почвы при исследованиях достигала 4,5-5,0 МПа, а влажность – 12-14%.



Рисунок 1. Экспериментальный плуг ПБН-3,3

При этом поверхность поля была покрыта сетью трещин. Глубина трещин доходила до 60 см. Плуг ПБН-3,3 агрегатировался с трактором Т-105К (рисунок 2).



Рисунок 2. Пахотный агрегат Т-150К+ПБН-3,3

Для сравнения и оценки работы агрегата Т-150К+ПБН-3,3 использовался пахотный агрегат Т-150К+ПЛН-5-35 (серийный плуг; рисунок 3).

Результаты сравнительных испытаний пахотных агрегатов Т-150К+ПЛН-5-35 и Т-150К+ПБН-3,3 представлены в таблице 1.

Анализируя таблицу 1 можно заключить, что пахотный агрегат Т-150К+ПБН-3,3 обеспечивает увеличение производительности и снижение расхода дизельного топлива 50%, т.е. высокий народно-хозяйственный эффект.

Для сравнения урожайности этими агрегатами было обработано поле площадью 60 га под посев зерновых культур.

В 2026 году будут продолжены исследования, испытания и доработка плуга ПБН-3,3.



Рисунок 3 – Серийный плуг ПЛН-5-35

Таблица 1 – Эксплуатационно-технологические показатели плугов

Показатель	Значение показателя	
Марка плуга	ПЛН-5-35	ПБН-3,3
Ширина захвата, м	1,75	3,3
Глубина обработки, см	23-25	23-25
Расход дизельного топлива, кг/га	21,0	10,7
Производительность, га/ч	1,26	2,47

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нестеров, Е.С. Разработка комбинированного технологического процесса и почвообрабатывающего орудия для основной обработки почвы: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Нестеров Евгений Сергеевич. – Саратов, 2011. – 197 с.

2. Окас, К. Разработка навесного фронтального плуга-рыхлителя для агрегатирования с тракторами тягового класса 5: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Окас Кожаберген. – Саратов, 2017. – 163 с.

3. Павлов, А.В. Совершенствование технологического процесса послойной обработки почвы плугом-рыхлителем с комбинированным рабочим органом: специальность 05.20.00 «Процессы и машины агроинженерных систем»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Павлов Андрей Владимирович. – Саратов, 1995. – 226 с.

4. Петров, В.А. Совершенствование технологического процесса мелкой мульчирующей обработки почвы путём разработки нового почвообрабатывающего орудия с комбинированными рабочими органами: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на Петров Виталий Александрович. – Саратов, 2009. – 174 с.

5. Саяпин, О.В. Повышение эффективности технологии уборки картофеля предварительным рыхлением клубненосного слоя: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Саяпин Олег Викторович. – Саратов, 2011. – 185 с.

6. Чернышкин, В.В. Совершенствование технологического процесса и почвообрабатывающего орудия для основной обработки почвы: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Чурляева Оксана Николаевна. – Саратов, 2013. – 184 с.

7. Чурляева, О.Н. Повышение эффективности технологии основной обработки почвы в системе орошаемого земледелия (на примере возделывания сои): специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Чурляева Оксана Николаевна. – Саратов, 2017. – 176 с.

REFERENCES

1. Nesterov, E.S. Development of a combined technological process and a tillage implement for primary soil cultivation: Specialty 05.20.01 "Technologies and Means of Agricultural Mechanization": Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Nesterov Evgeny Sergeyevich. – Saratov, 2011. – 197 p.

2. Okas, K. Development of a front-mounted plow-ripper for use with traction class 5 tractors: Specialty 05.20.01 "Technologies and Means of Agricultural Mechanization": Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Okas Kozhabergen. – Saratov, 2017. – 163 p.

3. Pavlov, A.V. Improvement of the technological process of stratified soil tillage using a plow-ripper with a combined working element: Specialty 05.20.00 "Processes and Machines of Agro-engineering Systems": Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Pavlov Andrey Vladimirovich. – Saratov, 1995. – 226 p.

4. Petrov, V.A. Improvement of the technological process of shallow mulching tillage through the development of a new tillage implement with combined working elements: Specialty 05.20.01 "Technologies and Means of Agricultural Mechanization": Dissertation... / Petrov Vitaly Alexandrovich. – Saratov, 2009. – 174 p.

5. Sayapin, O.V. Improving the efficiency of potato harvesting technology through preliminary loosening of the tuber-bearing soil layer: Specialty 05.20.01 "Technologies and means of agricultural mechanization": Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Sayapin Oleg Viktorovich. – Saratov, 2011. – 185 p.

6. Chernyshkin, V.V. Improvement of the technological process and tillage implement for primary soil cultivation: Specialty 05.20.01 "Technologies and means of agricultural mechanization": Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Churlyayeva Oksana Nikolaevna. – Saratov, 2013. – 184 p.

7. Churlyayeva, O.N. Improving the Efficiency of Primary Tillage Technology in Irrigated Farming Systems (A Case Study of Soybean Cultivation): Specialty 05.20.01 "Technologies and Means of Agricultural Mechanization": Dissertation for the Degree of Candidate of Technical Sciences / Churlyayeva Oksana Nikolaevna. – Saratov, 2017. – 176 p.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОЩНОСТИ ТРАКТОРОВ 200-250 КВТ НА ПАХОТНЫХ РАБОТАХ

С.В. Старцев, А.В. Павлов, Е.С. Нестеров

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики,
биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова», г. Саратов, Россия

Аннотация: Выполнены исследования энергетических показателей тракторов мощностью 200-250кВт, наиболее широко применяемых на пахотных работах. На основе результатов тяговых испытаний тракторов получены эмпирические зависимости тяговой мощности тракторов John Deere 7R 290, Buhler Versatile 305, Massey Ferguson 8735, Fend 728 Vario, Claas Axsion 930, New Holland T7. 270, Case IH Magnum 380, Challenger MT740, MTZ-2822, K-701 от скорости движения. Рассчитана зависимость тяговой мощности лемешно-отвального плуга ПЛН-8-40 шириной захвата 3,2м, от скорости движения. Установлена величина загрузки каждого трактора в агрегате с плугом ПЛН-8-40 по коэффициенту использования эффективной мощности трактора. Доказана необходимость разработки нового широкозахватного почвообрабатывающего орудия для выполнения технологии основной отвальной обработки почвы пахотными агрегатами в составе тракторов мощностью 200-250кВт.

Ключевые слова. Пахотный агрегат, трактор, плуг, тяговая мощность, скорость движения, коэффициент использования эффективной мощности трактора.

Original article

USE OF POWER OF TRACTORS 200-250KVT ON PLOUGHING WORKS

S.V. Startsev, A.V. Pavlov, E.S. Nesterov

Saratov State University of genetics, biotechnology and engineering
named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Abstract: The energy performance of 200-250 kW tractors, which are widely used for plowing, has been studied. Based on the results of traction tests of tractors, empirical dependences of the traction power of tractors John Deere 7R 290, Buhler Versatile 305, Massey Ferguson 8735, Fend 728 Vario, Claas Axsion 930, New Holland T7. 270, Case IH Magnum 380, Challenger MT740, MTZ-2822, K-701 on the speed of movement are obtained. The dependence of the traction power of the PLN-8-40 plough with a working width of 3.2 m on the speed of movement has been calculated. The load capacity of each tractor in combination with the PLN-8-40 plough has been determined based on the coefficient of utilization of the tractor's

effective power. The need to develop a new wide-area tillage tool for performing the main ploughing technology using 200-250 kW tractors has been proven.

Keywords: Ploughing unit, tractor, plow, traction power, speed, and coefficient of use of the tractor's effective power.

Введение. Для получения высокого и качественного урожая зерновых культур необходимо создать условия роста и развития растений, во многом определяемые применяемой системой обработки почвы. От того какое механическое воздействие рабочих органов будет оказано на почву в предпосевной период зависит состояние культурных растений. Исследованиями установлено, что наиболее положительное влияние на создание благоприятных условий развития зерновых культур оказывает отвальная технология обработки почвы. В технологическом процессе отвальной обработки почвы в основном используются отечественные загонные плуги серии ПЛН, среди которых навесные восьмикорпусные плуги ПЛН-8-35, ПЛН-8-40 [1].

Эти почвообрабатывающие орудия агрегатируются с тракторами мощностью двигателя от 200 до 250кВт [2]. К таким энергетическим средствам относятся тракторы производства России К-701(235кВт), К-744Р1(220кВт) и Белоруссии МТЗ-2822 (205кВт), МТЗ-3522 (264кВт). Тракторы производителей стран Европы, Канады, США John Deere 7R 290 (208кВт), Buhler Versatile 305 (246кВт), Massey Ferguson 8735 (233кВт), Fend 728 Vario (203кВт), Claas Axion 930, (234кВт), New Holland T7. 270 (200кВт), Case IH Magnum 380 (238кВт), Challenger MT740 (208кВт) и другие [3]. По российской классификации тракторы относятся к 5 тяговому классу, развиваемое тяговое усилие 45-54кН и к 6 тяговому классу - усилие 54-72кН [4, 5].

Наряду с улучшающим фактором агрофизических свойств почвы, вспашка почвы относится к самой энергоемкой операции в технологии возделывания сельскохозяйственных культур. Поэтому снижение затрат энергии на пахотных работах является главным из путей при подборе техники – трактора и лемешно-отвального плуга [2, 5]. Рациональное комплектование пахотного агрегата включает наличие трактора с мощностью достаточной для преодоления сил сопротивления плуга в агрономически допустимых условиях эксплуатации.

Методика исследований. Теоретические исследования проводили с использованием основных положений теории расчета сельскохозяйственных машин и производственной эксплуатации машинно-тракторного парка [2,5]. Энергетические показатели тракторов определяли по результатам тяговых испытаний тракторов по стерне, выполненных машиноиспытательными станциями Российской Федерации и лабораторией Небраски США, на соответствие стандартам организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) (Organisation de coopération et de développement économiques, OCDE)[6].

Результаты исследований: На рисунке 1 представлена диаграмма номинальной эффективной мощности тракторов от 200 до 250 кВт

отечественного и зарубежного производства. Диаграмма в этом диапазоне показывает прирост мощности от 5 до 46кВт, что составляет от 2 до 18%.

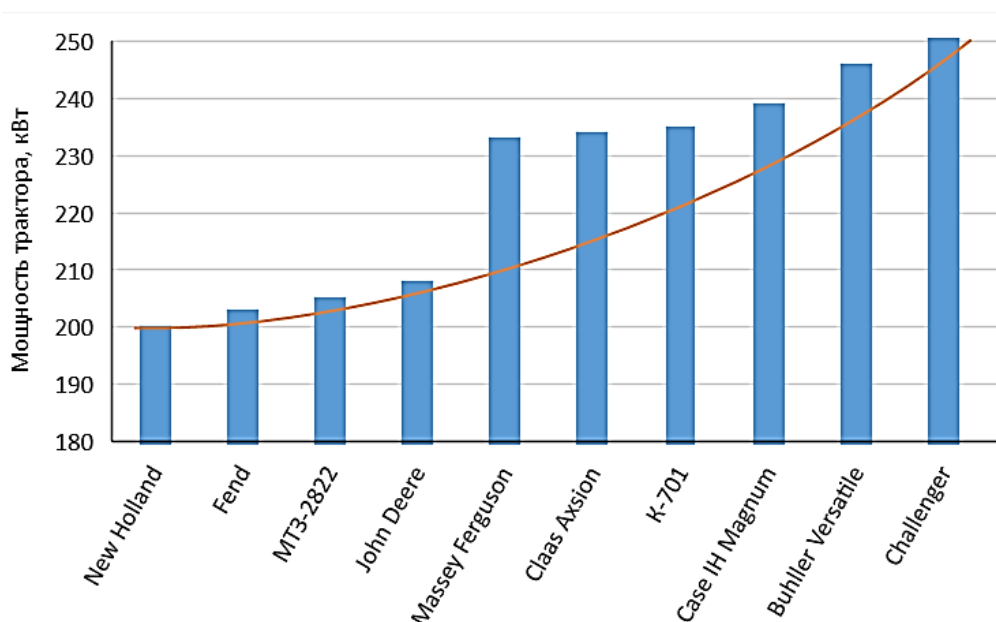


Рисунок 1. Диаграмма эффективной мощности тракторов

Для анализа рационального комплектования пахотных агрегатов по критерию использования максимальной тяговой мощности, приняли тракторы различной мощности, агрегатирующие плуг ПЛН-8-40. Затраты мощности N_n на тягу плуга определим по формуле (1) с учетом тягового сопротивления плуга R_n [2]:

$$N_n = R_n \cdot v_n = (fG + kaB_n + \varepsilon aB_n v_n^2) v_n, \quad (1)$$

где f - коэффициент трения корпусов плуга о почву ($f=0,5$); G - сила тяжести плуга, κH ; B_n - ширина захвата плуга, m ; k - коэффициент, характеризующий способность почвенного пласта сопротивляться деформации ($k=35,5$), $\kappa H/m^2$; a - глубина обрабатываемого слоя почвы $a=0,27$, m ; ε - коэффициент, зависящий от формы отвала и свойств почвы ($\varepsilon=3,43$), $\kappa Hc^2/m^4$. v_n – скорость движения пахотного агрегата, m/c .

Коэффициент использования максимальной тяговой мощности [3]:

$$\eta_{N_{кр}} = N_{кр} / N_{кр \max}, \quad (2)$$

где $N_{кр}$ – тяговая мощность трактора, кВт; $N_{кр \max}$ – максимальная тяговая мощность трактора, кВт.

Изучив данные в протоколах испытаний тракторов лаборатории Nebraska Tractor Test США [6] и машиноиспытательных станций России [7], установили зависимости тяговой мощности тракторов от скорости движения (рисунок 2). Аппроксимируя их методом наименьших квадратов с величиной достоверности 0,991, получены следующие эмпирические зависимости:

$$N_{кр} = 129,6 + 26,5879 \cdot v_n - 1,9889^2 v_n^2; \quad \text{Challenger MT 740} \quad (3)$$

$$N_{кр} = 176,1 + 9,5839 \cdot v_n - 0,7539^2 v_n^2; \quad \text{Case IH Magnum 380} \quad (4)$$

$N_{кр} = 14,199 + 142,29 - 0,9289^2;$	Claas Axsion 930	(5)
$N_{кр} = 48,56 + 69,5369 - 8,2649^2;$	Massey Ferguson 8735	(6)
$N_{кр} = 114,5 + 18,4049 - 1,5129^2;$	John Deere 7R 290	(7)
$N_{кр} = 132,63 + 14,3439 - 1,3389^2;$	New Holland T7. 270	(8)
$N_{кр} = 126,89 + 15,5319 - 1,3339^2;$	Fend 728 Vario	(9)
$N_{кр} = 132,1 + 10,3119 - 1,2329^2;$	MT3-2822	(10)
$N_{кр} = 114,5 + 19,6619 - 2,1969^2;$	Buhller Versatile 305	(11)
$N_{кр} = 89,9 + 15,4759 - 1,1259^2;$	K-701	(12)

где $N_{кр}$ – тяговая мощность трактора, кН; v – скорость трактора, м/с.

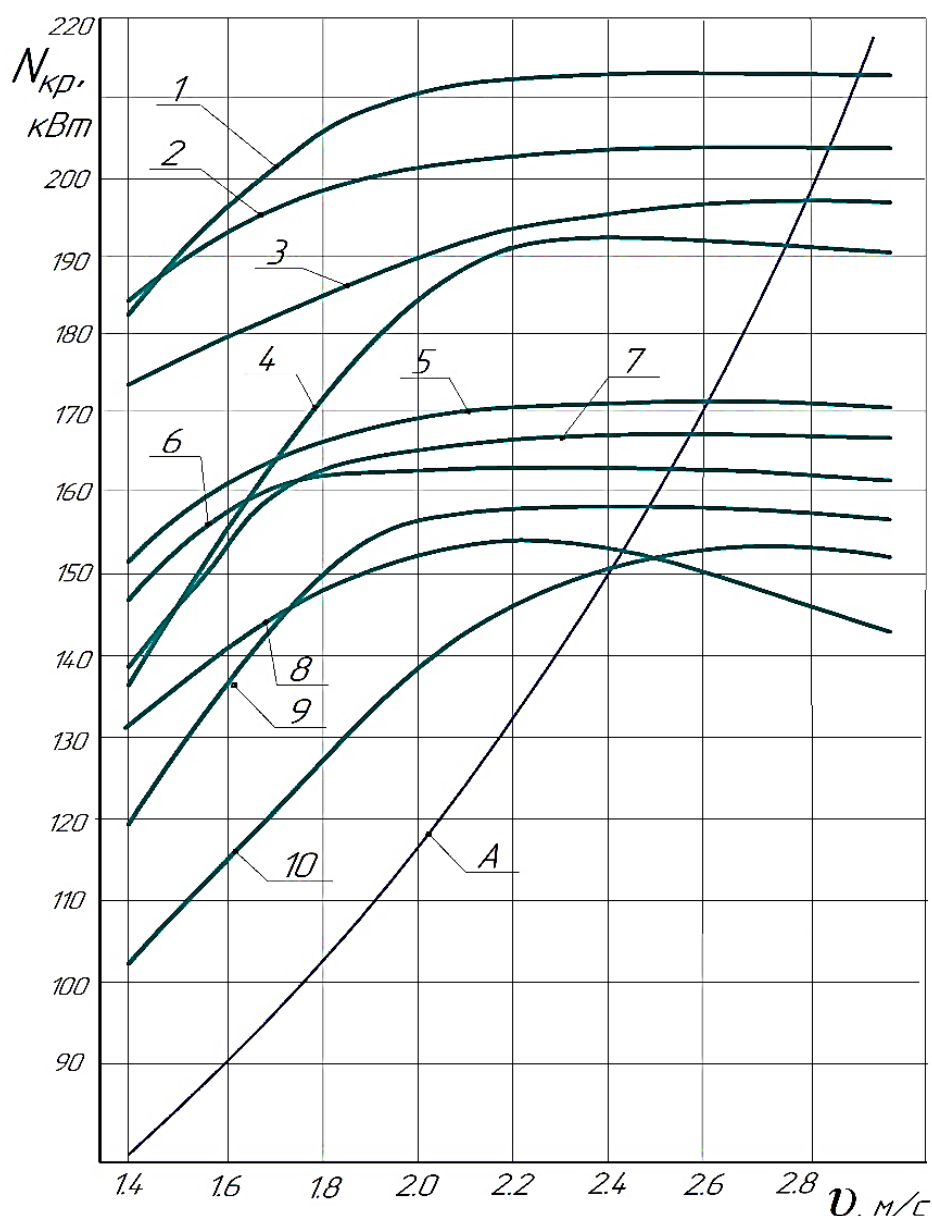


Рисунок 2 - Зависимость тяговой мощности трактора (1- Challenger MT 740; 2- Case IH Magnum 380; 3- Claas Axsion 930; 4- Massey Ferguson 8735; 5- John Deere 7R 290; 6- New Holland T7. 270; 7- Fend 728 Vario; 8- MT3-2822; 9- Buhller Versatile 305; 10- K-701) и потребляемой мощности плуга ПЛН-8-40 (А) от скорости движения агрегата

Из графика (рисунок 2, зависимость А) видно, что для агрегатирования серийного загонного плуга ПЛН-8-40 в принятых расчетных значениях уравнения (1) при скоростях движения пахотного агрегата 1,4-2,9м/с необходимо от 81 до 215кВт мощности тяговых энергетических средств. Затраты мощности на тягу тракторов мощностью 200-250кВт в этом диапазоне скорости различаются. Так у трактора Buhller Versatile 305 с наибольшей эффективной мощностью 246кВт (рисунок 1, 9), составляют 120-157кВт. У трактора New Holland T7. 270 с наименьшей эффективной мощностью 200кВт (рисунок 1, 6), составляют 148-162кВт. Наибольшую тяговую мощность 182-212кВт развивает трактор Challenger MT 740 с эффективной мощностью двигателя 257кВт (рисунок 1, 1). И наименьшей тяговой мощностью 104-152кВт обладает трактор К-701 с эффективной мощностью двигателя 235кВт (рисунок 1, 10).

В результате расчетов коэффициента использования максимальной тяговой мощности по выражению (2) установлено, что энергетические тяговые средства в диапазоне скорости движения 1,4-2,9м/с с плугом ПЛН-8-40 имеют различную загрузку двигателя (Рисунок 3). Так трактор Buhller Versatile 305 с эффективной мощностью 246кВт на скорости движения 2,4м/с загружен на пахотных работах с коэффициентом 0,95. Наивысший коэффициент использования максимальной тяговой мощности 0,99 на этой скорости, получен у трактора К-701 с эффективной мощностью двигателя 235кВт. Самый низкий коэффициент использования максимальной тяговой мощности 0,71 получен у трактора Challenger MT 740, с эффективной мощностью двигателя 227кВт (рисунок 1).

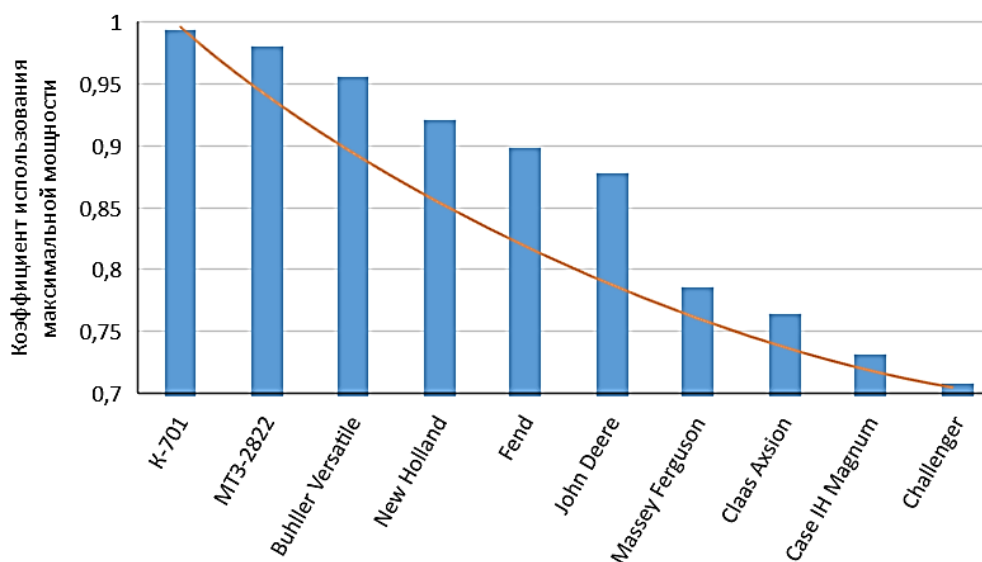


Рисунок 3. Диаграмма изменения коэффициента использования максимальной тяговой мощности тракторов

Диаграммы (рисунок 1 и 3) показывают, что чем выше тяговая мощность трактора, тем ниже его загрузка с навесным плугом ПНЛ-8-40. Это заключение также согласуется с ранее выполненными работами других исследователей [8-

10]. С целью загрузки более мощных тракторов разработан и использовался лемешно-отвальный плуг с изменяемой шириной захвата ПНИ-8-40 [2]. В настоящее время этот плуг не производится, а более ранние конструкции изношены и находятся за рекомендуемым сроком эксплуатации. Для эффективной загрузки энергонасыщенных тракторов используют широкозахватные скоростные плуги ПБС-8[11], захват которого составляет 4,8м, что на 33,3% больше ширины захвата плуга ПЛН-8-40. Проведенными экспериментально-теоретическими исследованиями технологического процесса отвальной обработки почвы установлено, что энергоемкость МТЗ-2522+ПБС-8 меньше энергоемкости агрегата МТЗ-2522+ПЛН-8-40 на 25,1-28,2%.

Анализ графика зависимости тяговой мощности трактора и потребляемой мощности плуга ПЛН-8-40 от скорости движения агрегата (Рисунок 2) также показывает возможность работы агрегатов на скорости движения более 2,4м/с. При выполнении технологического процесса отвальной обработки почвы на более высокой скорости с качеством установленными агротехническими требованиями возможно увеличение загрузки двигателя и как следствие энергосбережение на пахотных операциях.

Заключение. Из диаграммы рисунок 1 следует, что в диапазоне мощности двигателя тракторов 200-250кВт наблюдается значительный размах прироста мощности 5 – 46 кВт. При использовании данных энергетических средств на пахотных работах применяется серийный загонный лемешно-отвальный плуг общего назначения ПЛН-8-40. Тракторы на скоростях движения 1,4-2,9м/с затрачивают на выполнение технологического процесса вспашки от 81 до 215кВт эффективной мощности, что различно отражается на загрузке трактора. Наивысший коэффициент использования максимальной тяговой мощности получен у трактора К-701 с эффективной мощностью двигателя 235кВт. Самый низкий коэффициент у трактора Challenger МТ 740, с эффективной мощностью двигателя 227кВт. Для реализации имеющегося запаса мощности энергонасыщенных тракторов требуется разработка новых более широкозахватных почвообрабатывающих орудий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Халанский, В.М. Сельскохозяйственные машины / Халанский В.М., Горбачев И.В.//– М.: Колосс, 2003. – 623 С.- Текст: непосредственный.
2. Тракторы сельскохозяйственные URL: <https://agroserver.ru/traktory/> (дата обращения 09.01.2026). - Режим доступа: Электронно-библиотечная система Юрайт. - Текст : электронный.
3. Трактор-РЕВЮ. Интернет-журнал о сельскохозяйственной спецтехнике. URL: <https://tractorreview.ru/traktora/kolesnyie-traktora/mtz/mtz-1025-tehnicheskie-harakteristiki.html>. (дата обращения 09.01.2026). - Режим доступа: Электронно-библиотечная система Юрайт. - Текст : электронный.
4. ГОСТ 27021-86 (СТ СЭВ 628-85). Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Тяговые классы. М.: Издательство стандартов, 1986.-6с.

5. Иофинов, С.А. Эксплуатация машинно-тракторного парка / Иофинов С.А.// – М.: Колос,1984.-2-е изд., перераб. и доп., 350 С.
6. Institute of Agriculture and Natural Resources NEBRASKA TRACTOR TEST LABORATORY. URL: <https://tractortestlab.unl.edu/testreports>. (дата обращения 09.01.2026). - Режим доступа: Электронно-библиотечная система Юрайт. - Текст : электронный.
7. Тяговые характеристики сельскохозяйственных тракторов. Альбом-справочник. //М.:Россельхозиздат, 1979.-240с.- Текст: непосредственный.
8. Бойков В.М. Оценка загруженности сельскохозяйственных тракторов на пахотных работах / Бойков В.М., Старцев С.В., Павлов А.В., Нестеров Е.С. Аграрный научный журнал. №5.2022.- С.74-76.
9. Сидоров В.Н. Снижение энергозатрат МТА на основе эффективного использования установленной мощности двигателей энергонасыщенных тракторов. Автореферат дисс. д-ра техн. наук. Сакт-Перербург-Пушкин, 2000.- 40с.
10. Джабборов Н. И. Оценка работы почвообрабатывающего агрегата по тяговому КПД трактора. /Н. И. Джабборов, А. В. Добринов, А. В. Лобанов, Д. С. Федькин //Механизация и 135 электрификация сельского хозяйства. № 3, 2012. – С. 29-30.
11. Бойкова Е.В. Разработка энергосберегающего технологического процесса основной обработки почвы и плуга общего назначения. Автореферат дисс. канд-та техн. наук. Саратов, 2010.-20с.

REFERENCES

1. Halansky, V.M. Agricultural Machines / V.M. Halansky, I.V. Gorbachev.//– М.: Koloss, 2003. – 623 P. - Text: direct.
2. Agricultural Tractors URL: <https://agroserver.ru/traktory/> (date of access 09.01.2026). - Access mode: Electronic library system Yurayt. - Text: electronic.
3. Tractor-REVIEW. Online magazine about agricultural special equipment. URL: <https://tractorreview.ru/traktora/kolesnyie-traktora/mtz/mtz-1025-tehnicheskie-harakteristiki.html>. (accessed on 09.01.2026). - Access mode: Yurayt Electronic Library System. - Text: electronic.
4. GOST 27021-86 (ST SEV 628-85). Agricultural and forestry tractors. Traction classes. Moscow: Publishing House of Standards, 1986.-6p.
5. Iofinov, S.A. Operation of the machine and tractor fleet / Iofinov S.A.// – М.: Kolos, 1984.-2nd ed., reprint. and an addendum, 350 p.
6. Institute of Agriculture and Natural Resources NEBRASKA TRACTOR TEST LABORATORY. URL: <https://tractortestlab.unl.edu/testreports>. (accessed 09.01.2026). - Access mode: Yurayt Electronic Library System. - Text: electronic.
7. Traction characteristics of agricultural tractors. Album-reference book. // М.:Rosselkhozizdat, 1979.-240p.- Text: direct.
8. Boykov V.M. Assessment of the load on agricultural tractors in ploughing operations / Boykov V.M., Startsev S.V., Pavlov A.V., Nesterov E.S. Agrarian Scientific Journal. No. 5. 2022. pp. 74-76.

9. Sidorov V.N. Reducing the energy consumption of MTA based on the efficient use of the installed power of energy-intensive tractor engines. Abstract of Doctoral Dissertation in Technical Sciences. Sakht-Pererburg-Pushkin, 2000.-40p.
10. Dzhabborov, N. I. Evaluation of the performance of a tillage unit based on the tractor's traction efficiency. / N. I. Dzhabborov, A. V. Dobrinov, A. V. Lobanov, and D. S. Fedkin // Mechanization and Electrification of Agriculture. No. 3, 2012. – Pp. 29-30.
11. Boykova, E. V. Development of an energy-saving technological process for basic tillage and a general-purpose plow. Abstract of the thesis of the Candidate of Technical Sciences. Saratov, 2010.-20p.

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ ДЛЯ ПОСЕВА ОЗИМЫХ КУЛЬТУР В ПОВОЛЖЬЕ. ЗАНЯТЫЙ ПАР. ЧАСТЬ III

С.В. Старцев, А.В. Павлов, Е.С. Нестеров

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики,
биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова», г. Саратов, Россия

Аннотация: Приведены процессы подготовки занятого пара в условиях недостаточного увлажнения почвы под посев озимых культур в условиях Саратовского Поволжья. Исследованы и проанализированы существующие способы обработки почвы, применяемые технические средства с выполнением комбинированной мелкой обработки почвы, их ширина захвата и глубина обработки почвы, сроки проведения операций. Одной из разновидностей занятого пара рассмотрен вариант подготовки поля после пропашных парозамещающих предшественников с коротким сроком созревания, культур с большой высотой пожнивных остатков. Известные технологии обработки почвы в агроландшафтах недостаточного количества выпадаемых атмосферных осадков, послужат основой разработки ресурсосберегающей экологически безопасной технологии подготовки паровых полей новыми техническими средствами.

Ключевые слова: Технология, озимая пшеница, почва, занятый пар, луцильник, борона, культиватор, глубина, ширина захвата, влага.

Original article

TECHNOLOGY OF SOIL TREATMENT FOR SOWING WINTER CROPS IN THE VOLGA REGION. FARMED PAR. PART III.

S.V. Startsev, A.V. Pavlov, E.S. Nesterov

Saratov State University of genetics, biotechnology and engineering
named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Abstract: The process of preparing fallow land under conditions of insufficient soil moisture for sowing winter crops in the conditions of the Saratov Volga region is described and analyzed. The existing methods of soil cultivation, the technical means used for combined shallow soil cultivation, their width of capture and depth of soil cultivation, and the timing of operations are investigated and analyzed. One of the varieties of fallow land is the preparation of a field after row crops with a short ripening period and crops with a high stubble height. The known technologies for soil cultivation in agro-ecosystems with insufficient rainfall will serve as the basis for developing a resource-saving and environmentally friendly technology for preparing fallow fields using new technical means.

Keywords: Technology, winter wheat, soil, fallow land, lancet, harrow, cultivator, depth, working width, moisture.

Введение. Озимая пшеница является основной зерновой культурой среди озимых культур возделываемой в Поволжском федеральном округе, под площадь которой только в Саратовской области ежегодно отводится более 1 млн. га [1-3]. Культура особенно требовательна к условиям посева: срокам высева, наличия достаточного количества продуктивной влаги для прорастания семян, качественной подготовки почвы [4]. Причем Саратовская область и граничащие с ней регионы Нижнего Поволжья находятся в зоне с малым количеством выпадающих осадков и достижение высоких урожаев обеспечивается возделыванием озимых культур в севооборотах после парового поля.

Большинство полей под озимой пшеницей находится в крестьянско-фермерских хозяйствах и возделывается в короткоротационных севооборотах. Такой подход позволяет собрать большой урожай зерна на одной площади. С этой целью применяют технологию подготовки площади поля по занятому пару.

Занятый пар отличается от чистого черного пара [5] и раннего пара [6] тем, что обработка почвы выполняется на поле летом текущего года. То есть, занятый пар – это пар, обработка которого начинается летом, в год, когда на данном поле весной временно высевается парозамещающая культура с коротким сроком вегетации, для дальнейшей её запашки как зеленые удобрения (сидераты), либо сбора урожая на кормовые цели. Данный технологический подход осложнен еще тем, что после уборки парозамещающей культуры, затем обработки почвы должен пройти некоторый период усадки и самоуплотнения почвы до посева озимой культуры. Недостаточное оседание, грубо комковатая структура почвы приводят к неравномерности размещения семян по глубине и к плохой перезимовке растений. Поэтому для конкретного агроландшафта, климата и состава почвы, решение выполнимо с использованием рациональной системы обработки почвы за занятым паром. Условия развития и роста растений озимой пшеницы по занятым парам зависят не только от применяемых способов обработки почвы, но и технических средств для их выполнения.

Занятый пар имеет на много меньшую эффективность, чем черный. Не прошедший обработку с осени, вышедший из-под снега уплотненный грунт содержит меньше влаги накопленной за зиму. В полусухой земле сорняки произрастают очень слабо, поле невозможно качественно очистить от сорных растений к посеву временной парозамещающей культуры [4,7-9]. Нестабильность запасов продуктивной влаги в почве к рекомендуемому оптимальному периоду посева является главным аргументом для расширения границ осеннего сева за счет допустимых поздних сроков. Посев за пределами допустимых сроков возможен, но связан с повышенным риском. В годы с прогнозируемой продолжительной и теплой осенью рекомендуемые сроки посева следует сдвигать на неделю позже [7,10]. Для быстрого появления

всходов при поздних сроках посева порой на практике уменьшают глубину заделки семян. Однако независимо от глубины заделки семян, всходы в проведенных опытах получаются одновременными на контрольных делянках в условиях сухостепной зоны каштановых почв Нижнего Поволжья [7,11,12]. Из выводов исследователей агрофизических свойств почв под поздний посев озимых, нельзя четко установить какой вид или способ обработки лучше влияет на плотность, скважность почвы, все зависит от осенних погодных условий предшествующих обработке.

Методика исследований. Для анализа возможных схем технологий возделывания озимых культур по занятому пару в зоне сухого земледелия, изучались известные и применяемые в условиях Саратовского Поволжья технологии обработки почвы и посева, комплекс технических средств. Установлены сроки выполняемых работ, способы воздействия рабочих органов технологических комплексов на почву, технические характеристики машин, показатели работы почвообрабатывающих орудий [13,14].

Результаты исследований: На рисунке 1 приведена схема технологии подготовки занятого сплошного пара к посеву озимой культур с использованием мелкой обработки почвы.

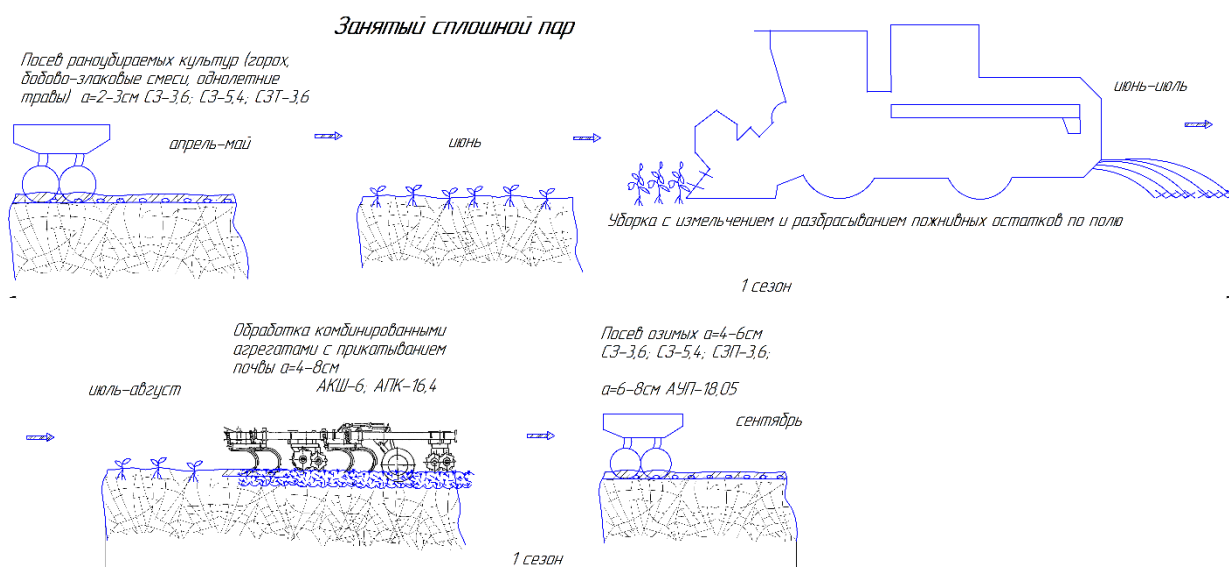


Рисунок 1. Схема подготовки занятого сплошного пара с использованием мелкой обработки почвы

Занятые пары в течении одного сезона засевают парозанимающими культурами с коротким периодом вегетации и оздоравливающим влиянием на почву. Виды занятых паров разделяют по типу этих культур. На сплошных занятых парах сеют культуры сплошного рядного посева зернобобовые и однолетние травы: викоовсяную и викоржаную смесь, эспарцет, клевер, горох, вику, чину, чечевицу, пелюшку, люпин и др. От вида культуры зависит конкретная польза от того или иного занятого пара. Зачастую посевы убирают на зеленый корм. Уборку проводят как можно раньше, чтобы приступить к паровой обработке почвы. По данной технологии (рис.1) весной в апреле, начале мая высевают парозанимающие культуры рядовыми зерновыми

сеялками СЗ-3,6; СЗ-5,4, травяными сеялками СЗТ-3,6 на глубину 2-3см. По мере отрастания зеленой массы в середине лета растения скашивают и приступают к обработке пара. Для такой цели применяют комбинированные почвообрабатывающие агрегаты АКШ-6; АКШ-7,2 (ширина захвата 6-7,2м), серии АПК (ширина захвата 3-16,4м). Такие орудия выполняют за один проход операции измельчения зеленой массы и перемешивания её с почвой, рыхления пласта, выравнивания и прикатывания почвы. Первый ряд катков дробит комки и выравнивает поверхность поля, S-образные стойки с лапами производят рыхление, а два ряда планчатых катков выравнивают и уплотняют почву под посев. Посев озимой пшеницы проводят также в середине-конце сентября сеялками СЗ, СЗП на глубину 4-6см, а в засушливых районах с использованием посевных комплексов АУП-18, «Агромастер», «Омичка» на глубину 6-8см.

На основе технологической схемы (рисунок 1) выбрали комплекс технических средств и агрегатов для расчета энергоемкости процесса подготовки занятого сплошного пара в левобережной зоне Саратовской области (таблица 1). Операции включают весенний посев парозанимающую культуру агрегатами Т-150К+СП-11+СЗ-3,6; послеуборочную комбинированную обработку почвы Т-150К+АКШ-6 и осенний посев озимых культур К-701+АУП-18. Общие затраты энергии всего технологического процесса составляют 19,6кВт·ч/га.

Таблица 1 – Энергоемкость процесса подготовки чистого сидерального пара

Состав агрегата	Тяговая мощность трактора, кВт	Ширина захвата, м	Скорость, м/с	Производительность, га/ч	Затраты энергии, кВт·ч/га
Т-150К+СП-11+СЗ-3,6	41	10	2,4	6,8	6,0
Т-150К+АКШ-6	41	6	2,4	4,3	9,5
К-701+АУП-18	56	18	2,6	13,7	4,1
Итого					19,6

На рисунке 2 приведена схема технологии обработки почвы занятого пропашного пара.

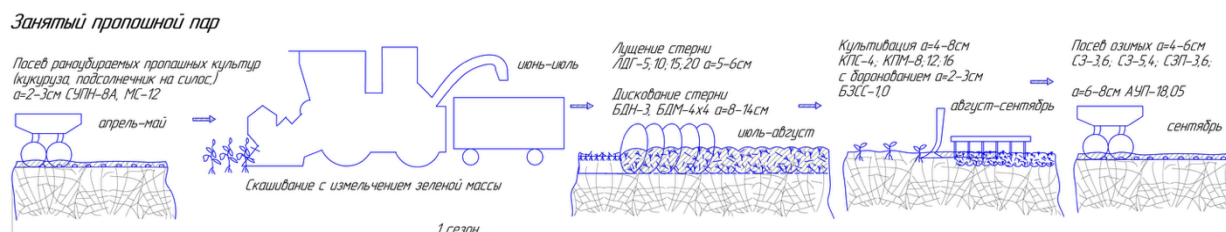


Рисунок 2. Схема подготовки занятого пропашного пара

На занятых пропашных парах, в отличие от сплошных занятых паров, сеют пропашные культуры широкорядного посева: кукурузу и подсолнечник на силос, ранний картофель. После скашивания растительной массы оставшуюся

на поле стерню перемешивают с почвой дисковыми луцильниками ЛДГ, тяжелыми дисковыми боронами БДТ, дискаторами БДМ на глубину от 5 до 14см. Летние обработки проводят паровыми культиваторами КПС, КПМ, КШУ на глубину 4-8см в сочетании с боронованием зубowymi боронами БЗСС-1,0; БЗТС-1,0 на глубину 2-3см, а в условиях засушливой погоды — дополнительно с прикатыванием почвы. Посев озимой пшеницы проводят также в середине-конце сентября сеялками СЗ, СЗП на глубину 4-6см, а в засушливых районах с использованием посевных комплексов АУП-18, «Агромастер», «Омичка» на глубину 6-8см [12-14].

Руководствуясь схемой (рисунок 2) использовали комплекс технических средств и агрегатов для расчета энергоемкости процесса подготовки занятого пропашного пара в левобережной зоне Саратовской области (таблица 2). Технологическая схема операций включает весенний посев парозаменяющей культуры агрегатами Т-150К+СП-11+СЗ-3,6; летнее дискование Т-150К+БДМ-4х2 и культивации с боронованием агрегатом К-701+СП-16+КПС-4+БЗСС-1,0; посев озимых культур К-701+АУП-18. Общие затраты энергии всего технологического процесса составляют 27,5кВт·ч/га.

Таблица 2 – Энергоемкость процесса подготовки занятого пропашного пара

Состав агрегата	Тяговая мощность трактора, кВт	Ширина захвата, м	Скорость, м/с	Производительность, га/ч	Затраты энергии, кВт·ч/га
Т-150К+СП-11+СЗ-3,6	41	10	2,4	6,8	6,0
Т-150К+БДМ-4х2	33,3	4	2,8	3,4	9,8
К-701+СП-16+КПС-4+БЗСС-1,0	62,8	12	2,4	8,3	7,6
К-701+АУП-18	56	18	2,6	13,7	4,1
Итого					27,5

Закключение: Занятый пар применяется по технологии подготовки почвы в течении одного календарного года. Подготовка почвы начинается после уборки парозамещающей культуры и включает комплекс почвообрабатывающих операций комбинированными и специализированными агрегатами. Технологии обработки почвы под посев озимых культур в условиях Саратовской области для подготовки занятого пара показали, различие состоит в построении технологической цепи операций, видам механических воздействий на почву, способам утилизации незерновой части урожая предшественника. Наиболее эффективными способами подготовки почвы уменьшающими использование влаги в весенне-летний период как после зерновых, так и после пропашных предшественников является обработка дисковыми или комбинированными диско-лаповыми, диско-чизельными агрегатами с последующей доработкой культиваторами на мелкую глубину.

Борьба с сорной растительностью в пару сводится к культивации с боронованием. Известные способы и комплекс машин обработки почвы являются базой для поиска рациональной экологически безопасной технологии подготовки парового поля под посев озимых культур в зоне недостаточного увлажнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Посевные площади сельскохозяйственных культур в Саратовской области. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://64.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/04_posev_11_08_2023.pdf (дата обращения 25.03.2025).
2. В Саратовской области засеяно почти 65 процентов площадей озимых под урожай-2024. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://salt.news/selskoe-hozyajstvo/v-saratovskoj-oblasti-zaseyano-pochti-65-proczentov-ploshhadej-ozimyh-pod-urozhaj-2024/?ysclid=lpb31d5zsj256355751>. (дата обращения 25.03.2025).
3. Саратовская область лидирует по сбору зерна в ПФО. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sarnovosti.ru/news/saratovskaya-oblast-lidiruet-po-sboru-zerna-v-pfo/> (дата обращения 25.03.2025).
4. Перспективная ресурсосберегающая технология производства озимой пшеницы: метод. рек. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009.- 68 с.
5. Бойков В.М. Технологии обработки почвы для посева озимых культур в Поволжье. Чистый пар. Часть I. / Бойков В.М., Старцев С.В., Павлов А.В., Нестеров Е.С. Проблемы экономичности и эксплуатации с.х техники. Материалы Международной научно-технической конференции имени В.В. Михайлова. – Вып. 37. – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский ун-т, 2024. – С.173-179.
6. Бойков В.М. Технологии обработки почвы для посева озимых культур в Поволжье. Ранний пар. Часть II. / Бойков В.М., Старцев С.В., Павлов А.В., Нестеров Е.С. Проблемы экономичности и эксплуатации с.х техники. Материалы Международной научно-технической конференции имени В.В. Михайлова. – Вып. 37. – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский ун-т, 2025. – С.173-179.
7. Гурова О.Н. Влияние способов основной обработки чёрного пара на урожайность озимой пшеницы / Гурова О.Н., Мисюряев В.Ю. / Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса, № 4 (28), 2012.-С.1-5.
8. Практическое руководство по проведению осеннего сева на территории Волгоградской области с учетом складывающихся условий 2021 года. Волгоград, ИПК ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ «Нива», 2021.- 39с.
9. Попов А.С. Технологические элементы интенсификации возделывания твердой озимой пшеницы в степной зоне Северного Кавказа. Дисс-я докт-ра с.х наук, Зерноград, 2020. – 356с.
10. Савчук С.В. Способы основной обработки чистого пара под озимую пшеницу на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья // Известия ОГАУ, №26-1, 2010.- с.24-27.

11. Зеленев А.В. Поздние сроки и глубина посева озимой пшеницы в сухостепной зоне каштановых почв нижнего Поволжья / А.В. Зеленев, А.А. Питоня, П.А. Смутнев, В.Н. Питоня // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса, №2(42), 2016.-С.72-77.
12. Сивашов В.Ю. Обработка почвы под озимую пшеницу после непаровых предшественников в южной зоне Ростовской области. Автореферат канд-та с.х. наук. п.Рассвет. 2007.-26с.
13. АгроБаза — все о сельхозтехнике и сельском хозяйстве. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.agrobase.ru/> (дата обращения 29.01.2024).
14. Старцев С.В. Альбом-справочник по производственной эксплуатации машинно-тракторного парка / С.В. Старцев, А.С. Старцев, Д.Г. Горбань - Саратов, 2011. - 322 с.

REFERENCES

1. Crop areas in the Saratov Region. [Electronic resource]. Available at: https://64.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/04_posev_11_08_2023.pdf (Accessed March 25, 2025).
2. In the Saratov Region, almost 65 percent of the winter crop area has been sown for the 2024 harvest. [Electronic resource]. Available at: <https://salt.news/selskoe-hozyajstvo/v-saratovskoj-oblasti-zaseyano-pochti-65-procentov-ploshhadej-ozimyh-pod-urozhaj-2024/?ysclid=lpb31d5zsj256355751>. (Accessed March 25, 2025).
3. Saratov Region Leads in Grain Harvesting in the Volga Federal District. [Electronic resource]. Available at: <https://sarnovosti.ru/news/saratovskaya-oblast-lidiruet-po-sboru-zerna-v-pfo/> (accessed March 25, 2025).
4. Promising Resource-Saving Technology for Winter Wheat Production: Method. rec. Moscow: Federal State Scientific Institution "Rosinformagrotech", 2009. - 68 p.
5. Boykov V. M. Tillage Technologies for Sowing Winter Crops in the Volga Region. Pure Fallow. Part I. / Boykov V. M., Startsev S. V., Pavlov A. V., Nesterov E. S. Problems of Efficiency and Operation of Agricultural Machinery. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference named after V. V. Mikhailov. - Issue. 37. – Saratov: Vavilov University, 2024. – Pp.173-179.
6. Boykov V.M. Soil cultivation technologies for sowing winter crops in the Volga region. Early fallow. Part II. / Boykov V.M., Startsev S.V., Pavlov A.V., Nesterov E.S. Problems of efficiency and operation of agricultural machinery. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference named after V.V. Mikhailov. – Issue. 37. – Saratov: Vavilov University, 2025. – Pp.173-179.
7. Gurova O.N. Influence of methods of primary cultivation of bare fallow on the yield of winter wheat / Gurova O.N., Misyuryaev V.Yu. / News of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex, No. 4 (28), 2012. - Pp. 1-5.
8. Practical Guide for Autumn Sowing in the Volgograd Region, Taking into Account the Developing Conditions of 2021. Volgograd, Institute of Advanced Training of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Volgograd State Agricultural University "Niva", 2021. - 39 p.

9. Popov A.S. Technological Elements of Intensifying the Cultivation of Durum Winter Wheat in the Steppe Zone of the North Caucasus. Doctor of Agricultural Sciences Dissertation, Zernograd, 2020. - 356 p.
10. Savchuk S.V. Methods of primary tillage of bare fallow for winter wheat on southern chernozems of the Orenburg Cis-Urals // Bulletin of the OGAU, No. 26-1, 2010. - pp. 24-27.
11. Zelenev AV Late dates and sowing depth of winter wheat in the dry-steppe zone of chestnut soils of the Lower Volga region / AV Zelenev, AA Pitonya, PA Smutnev, VN Pitonya // Bulletin of the Lower Volga Agrarian University Complex, No. 2 (42), 2016. - pp. 72-77.
12. Sivashov VY Soil tillage for winter wheat after non-fallow predecessors in the southern zone of the Rostov region. Abstract of Cand. Sci. (Agriculture). Rassvet village. 2007.-26 p.
13. AgroBaza — all about agricultural machinery and agriculture. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.agrobase.ru/> (date of access 01/29/2024).
14. Startsev S.V. Reference Album on the Industrial Operation of the Machine and Tractor Fleet / S.V. Startsev, A.S. Startsev, D.G. Gorban - Saratov, 2011. - 322 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОСАДОЧНЫХ МАШИН

Турешова А.Е.

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет
имени Жангир хана

Аннотация: В статье представлен обзор и анализ патентной документации, посвящённой машинам и приспособлениям для создания борозд (траншей), используемых при посадке садовых и лесных культур. Рассмотрены конструктивные решения и принципы работы различных типов рабочих органов, включая плужные, дисковые, фрезерные, буровые и комбинированные конструкции. Показаны преимущества и недостатки отдельных патентных решений, а также выявлены современные тенденции в развитии посадочной техники — автоматизация, многофункциональность, модульность и универсальность.

Ключевые слова: бороздонарезчик, траншеекопатель, рабочий орган, лесопосадочная машина, патентный анализ, автоматизация посадки.

Original article

RESEARCH AND CLASSIFICATION OF TECHNICAL SOLUTIONS FOR PLANTING MACHINE WORKING UNITS

Tureshova A.E.

Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian-Technical University

Annotation: The paper presents the results of a patent analysis of machines and devices designed for the creation of furrows and trenches for planting forest and orchard seedlings. Particular attention is paid to the design and operating principles of working tools, which determine the efficiency and quality of planting. More than 30 patents from the USA, Russia, China, and other countries were analyzed, covering trenchers, planting machines, soil tillage units, and combined planting complexes. The analysis revealed key trends in the development of trenching and planting technologies, including multifunctionality, adaptability to various soil conditions, and reduction of labor intensity.

Keywords: furrow cutter, trencher, working body, forest planting machine, patent analysis, planting automation.

Введение. Создание борозд и траншей является ключевым технологическим этапом при посадке плодовых и лесных культур. От параметров борозды (ширины, глубины, формы) зависит приживаемость

саженцев, равномерность размещения растений и дальнейшая продуктивность насаждений.

Рост требований к эффективности лесохозяйственных и садоводческих работ обусловил активное развитие специализированных машин. Патентный поиск показал, что с 70-х годов XX века и до настоящего времени ведётся активная разработка новых рабочих органов для посадочных комплексов.

Объектами исследования являются машины и приспособления, применяемые для создания борозд и траншей, посадки саженцев лесных и садовых культур, а также комбинированные агрегаты, совмещающие несколько технологических операций (рыхление, посадку, внесение удобрений, прикатывание почвы). Основное внимание уделялось рабочим органам — дисковым, долотообразным, фрезерным, шнековым, комбинированным и торсионным, так как именно они определяют качество и эффективность выполнения посадочных операций [2,4].

Для достижения поставленных целей использовался комплекс методов:

Патентный поиск и анализ — изучение и систематизация отечественных и зарубежных патентов на изобретения и полезные модели в области посадочных машин;

Классификационный метод — группировка рабочих органов по конструктивным признакам, функциональному назначению, типу привода и количеству элементов;

Сравнительный анализ — выявление преимуществ и недостатков различных типов рабочих органов на основе анализа патентных материалов и технической литературы;

Обобщение и систематизация — формирование выводов о тенденциях развития техники и определение перспективных направлений конструкторских решений.

Применение указанных методов позволило комплексно рассмотреть современные технические решения, выявить закономерности и тенденции развития конструкций рабочих органов посадочных машин.

Для анализа использовалась патентная документация России, США, Китая и других стран:

- патенты на изобретения;
- патенты на полезные модели;
- опубликованные заявки.

Всего рассмотрено более 30 охранных документов, которые сгруппированы по функциональным и конструктивным признакам.

В статье приведены примеры патентных решений [12]:

- *Траншеекопатели* (US 2,544,815; US 4,718,182) — регулируемая глубина и ширина траншей, отвод вынутаго грунта.

- *Лесопосадочные машины* (RU 2 110 907; SU 1546015) — трёхсекционные рамы с рыхлителями, сошниками и катками.

- *Фрезерные рабочие органы* (RU 2 157 062; CN 202535699) — измельчение почвы и формирование рыхлой траншеи.

- Комбинированные агрегаты (CN 104663097; CN 203603129) – совмещают рытьё, посадку, внесение удобрений и прикатывание.

- Шнековые и буровые установки (CN 282694; CN 203181528) – для посадочных ям с высокой точностью.

- Торсионные траншеекопатели (CN 105766146) – регулируемая ширина канав за счёт торсионных балок и гидроприводов.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика рабочих органов

Тип рабочего органа	Преимущества	Недостатки
Плужные (лемешные, долотообразные)	Простота конструкции и обслуживания; высокая надёжность; малые затраты на изготовление	Высокое тяговое сопротивление; уплотнение дна борозды; ограниченные возможности регулировки формы и глубины
Дисковые	Хорошая производительность; возможность регулировки глубины и ширины; меньшее тяговое сопротивление по сравнению с плугом	Сложность конструкции (подшипники, регулировка углов); требует качественного ухода; менее эффективно работает на каменистых почвах
Фрезерны	Тщательное рыхление почвы; возможность одновременного измельчения растительных остатков; формирование ровного профиля борозды	Высокая энергоёмкость; сложность привода; быстрый износ рабочих органов
Шнековые и буровые	Высокая точность размеров и глубины ям или траншей; пригодны для посадки отдельных саженцев	Низкая производительность при массовых посадках; ограниченность по типам почв; сложность конструкции
Комбинированные (многооперационные)	Совмещение нескольких операций (рытьё, внесение удобрений, посадка, прикатывание); экономия времени и ресурсов; адаптивность	Увеличение массы и габаритов; сложность эксплуатации и ремонта; высокая стоимость
Торсионные (двухдисковые)	Регулируемая ширина траншей; снижение	Более сложный привод и конструкция; высокая

регулируемые)	вибраций за счёт торсионных элементов; повышенная адаптивность к условиям почвы	цена; необходимость регулярного обслуживания
---------------	---	--

Таблица наглядно показывает, что универсального решения пока не существует: каждая конструкция имеет свои плюсы и минусы. Поэтому современные патентные разработки направлены на создание комбинированных и адаптивных машин, которые объединяют лучшие качества разных типов рабочих органов.

История механизации посадочных работ начинается с середины XX века. Патенты 1940–1970-х годов показывают первые попытки механизировать нарезку траншей и ям для посадки лесных культур. Основные направления развития были следующие:

- создание регулируемых по глубине и ширине плужных и дисковых органов;
- разработка модульных систем с возможностью комбинирования нескольких рабочих органов;
- внедрение гидравлических приводов для точной настройки глубины и ширины борозды.

В 1980–1990-е годы наблюдается пик патентной активности, связанный с развитием лесопосадочной техники и повышением требований к производительности. Появляются первые комбинированные посадочные агрегаты с интегрированным внесением удобрений и прикатыванием.

Современный этап развития 2000–2025 годов характеризуется:

- внедрением автоматизации и датчиков контроля;
- созданием торсионных и модульных систем с возможностью регулировки ширины борозд на ходу;
- интеграцией функций посадки, удобрения и рыхления почвы в одном агрегате;
- использованием гидравлических и электромеханических приводов для повышения точности и снижения энергозатрат.

Анализ патентных публикаций показал, что первые разработки относятся к середине XX века, а пик изобретательской активности пришёлся на 1980–1990-е годы. В последние годы количество патентов снизилось, но разработки продолжают в области автоматизации и цифровизации процессов.

Тем не менее, многие существующие устройства имеют недостатки — высокую стоимость, сложность обслуживания, динамические нагрузки, низкую манёвренность [11].

Несмотря на значительное развитие техники, ряд проблем сохраняется:

- высокая стоимость и сложность обслуживания современных агрегатов;
- необходимость высокой квалификации операторов для настройки гидравлических и механических систем;

- отсутствие универсального рабочего органа, который бы удовлетворял все агротехнические требования для разных культур.

На основе анализа патентов и практических требований к посадке можно выделить следующие направления:

- создание универсальных и модульных посадочных комплексов;
- интеграция автоматизированных систем контроля и регулировки;
- применение комбинированных рабочих органов для одновременного выполнения нескольких операций;
- оптимизация конструкции с целью снижения массы, энергозатрат и динамических нагрузок;
- адаптация техники к сложным условиям: склоны, переувлажнённые участки, каменистые почвы.

Заключение. Проведённый патентный анализ показал, что:

- Существует широкий спектр конструкций машин и приспособлений для создания борозд, однако ни одна из них не является универсальной.
- Наиболее перспективными являются комбинированные агрегаты и торсионные траншеекопатели, обеспечивающие гибкость и адаптивность к условиям эксплуатации.
- Основными направлениями развития являются многофункциональность, автоматизация и снижение энергозатрат.
- Необходима разработка нового посадочного комплекса, способного выполнять полный цикл операций — от рытья траншей до посадки саженцев и внесения удобрений.

Таким образом, совершенствование рабочих органов и посадочных комплексов остаётся актуальной задачей для повышения эффективности лесовосстановления и садоводческих работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gardner, R. Trees as technology: Planting shelterbelts on the Great Plains. History and Technology, 25(4). – 2009. – P. 325–341.
2. ГОСТ 33687–2015. Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Методы испытаний. – Введ. 2017-07-01. – М.: Стандартинформ, 2016. – 30 с.
3. Машины для посева и посадки [Электрон. ресурс]. – 2010. – Режим доступа: URL: <http://present5.com/>
4. Набатов, Н.М., Ильяков, В.В. Лесные культуры и механизация лесохозяйственных работ [Текст] / Н.М. Набатов, В.В. Ильяков. – М.: Изд-во МГУ леса, 2005. – С. 24–34.
5. Обработка почвы [Электрон. ресурс] // Технологии и технические средства в сельском хозяйстве. – 2010. – Режим доступа: URL: <http://kalxoz.ru/str/1poshval.htm>
6. Панов, И.М., Ветохин, В.И. Физические основы механики почв. – К.: Феникс, 2008. – 266 с.
7. Посадка и посев лесных культур [Электрон. ресурс]. – 2010. – Режим доступа: URL: referatwork.ru

8. Родин, А.Р. Лесные культуры: учебник / под общ. ред. проф. А.Р. Родина. – М.: ВНИИЛМ, 2002. – 440 с.
9. Сидор, А.И., Ковалевич, А.И., Трухоновец, В.В. Курсовое проектирование. Селекция: технологии закладки лесосеменных плантаций: практическое руководство / Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2020. – 30 с.
10. Соколовский, И.В., Домасевич, А.А., Юренин, А.В. Практикум по почвоведению с основами земледелия: учеб.-метод. пособие. – Минск: БГТУ, 2016. – 184 с.
11. Якимов, Н.И., Гвоздев, В.К., Праходский, А.Н. Лесные культуры и защитное лесоразведение: учеб. пособие для студентов специальностей «Лесное хозяйство», «Садово-парковое строительство» [Текст]. – Минск: БГТУ, 2007. – 312 с.
12. URL: <https://patents.google.com/>

REFERENCES

1. Gardner, R. Trees as Technology: Planting Shelterbelts on the Great Plains. History and Technology, 2009, Vol. 25, No. 4, pp. 325–341.
2. GOST 33687–2015. Machines and Implements for Surface Tillage. Test Methods. Introduced July 1, 2017. Moscow: Standartinform, 2016. 30 p.
3. Machines for Sowing and Planting [Electronic resource]. 2010. Available at: <http://present5.com/>
4. Nabatov, N.M., Ilyakov, V.V. Forest Cultures and Mechanization of Forestry Operations. Moscow: MSU of Forest Publishing, 2005, pp. 24–34.
5. Soil Tillage [Electronic resource]. Technologies and Technical Means in Agriculture, 2010. Available at: <http://kalxoz.ru/str/1poshva1.htm>
6. Panov, I.M., Vetokhin, V.I. Physical Fundamentals of Soil Mechanics. Kyiv: Phoenix, 2008. 266 p.
7. Planting and Sowing of Forest Crops [Electronic resource]. 2010. Available at: <http://referatwork.ru>
8. Rodin, A.R. Forest Cultures: Textbook. Moscow: VNIILM, 2002. 440 p.
9. Sidor, A.I., Kovalevich, A.I., Trukhonovets, V.V. Course Design. Selection: Technologies for Establishing Forest Seed Plantations: Practical Guide. Gomel: F. Skorina Gomel State University, 2020. 30 p.
10. Sokolovsky, I.V., Domasevich, A.A., Yurenin, A.V. Workshop on Soil Science with Fundamentals of Agriculture: Teaching Manual. Minsk: BGТУ, 2016. 184 p.
11. Yakimov, N.I., Gvozdev, V.K., Prakhodsky, A.N. Forest Cultures and Protective Afforestation: Study Guide. Minsk: BGТУ, 2007. 312 p.
12. Patent Database [Electronic resource]. Available at: <https://patents.google.com/>

ПЛАН ФАКТОРНОГО ОПЫТА СЕЯЛОК ДЛЯ ПОСЕВА ЛЬНА ДОЛГУНЦА

Фирсов А.С., Ключева К.Ю.
ФГБОУ ВО Тверская ГСХА

Аннотация: в статье представлен план факторного опыта для оценки работы сеялок при посеве льна-долгунца, позволяющий определить оптимальные агротехнические параметры (скорость трактора, норму высева) для достижения максимальной урожайности и качества продукции. Результаты исследования помогают выявить показатели работы сеялки, обеспечивающие оптимальную глубину заделки семян и тем самым способствующие повышению качества посева, урожайности и качества льноволокна.

Ключевые слова: лен-долгунец, посев, опыт, деланки, дисперсия.

Original article

FACTORIAL EXPERIMENT DESIGN FOR FIBER FLAX SEEDERS

Firsov A.S., Klyueva K.Yu.,
Tver State Agricultural Academy

Abstract: The article presents a factorial experiment plan for evaluating the performance of seed drills during the sowing of fiber flax, which allows for determining the optimal agronomic parameters (tractor speed and seeding rate) to achieve maximum yield and quality of the product. The research results help identify the performance indicators of the seed drill, which ensure the optimal seed placement depth and thus contribute to improving the quality of sowing, yield, and fiber quality.

Keywords: fiber flax, sowing, experiment, plots, and dispersion.

Лён-долгунец (*Linum usitatissimum* L. var. *elongatum*) — стратегически важная сельскохозяйственная культура, востребованная в текстильной, строительной, фармацевтической и других отраслях промышленности. В условиях импортозамещения и роста спроса на натуральные материалы повышение эффективности возделывания льна-долгунца приобретает особую значимость.

Ключевым этапом технологии возделывания является посев, от качества выполнения которого зависят: полевая всхожесть семян; равномерность распределения растений по площади; структура урожая; урожайность и качество льноволокна.

Эффективность посева во многом определяется работой сеялок и правильностью выбора их настроек. Оптимизация параметров посева с

помощью факторного опыта позволяет выявить наиболее рациональные комбинации факторов, влияющих на рост и развитие льна-долгунца.

Цель исследования — разработать и обосновать план факторного опыта для оценки работы сеялок при посеве льна-долгунца, позволяющий определить оптимальные агротехнические параметры для достижения максимальной урожайности и качества продукции.

Задачи исследования:

1. Определить значимые факторы, влияющие на эффективность посева льна-долгунца;
2. Выбрать уровни варьирования для каждого фактора с учётом агротехнических требований и технических возможностей сеялок;
3. Обосновать выбор схемы факторного эксперимента и математической модели для обработки данных.
4. Разработать методику закладки и проведения полевого факторного опыта, включая: размер и форму делянок; количество повторностей; защитные полосы; систему наблюдений и учётов.

При проведении эксперимента выбраны наиболее значимые факторы, такие как скорость и норма высева, так как исходя из них, определяются оптимальные условия работы сеялки, которые в свою очередь влияют на урожайность, всхожесть семян.

Факторы и уровни варьирования (в натуральных и кодированных значениях):

Скорость трактора (V):

- 1) нижний уровень (–1) — 8 км/ч;
- 2) средний уровень (0) — 10 км/ч;
- 3) верхний уровень (+1) — 12 км/ч.

Норма высева (N):

- 1) нижний уровень (–1) — 45 кг/га;
- 2) средний уровень (0) — 60 кг/га;
- 3) верхний уровень (+1) — 75 кг/га.

Отклик (h) — глубина заделки семян (см), всхожесть, урожайность, гребнистость.

Составляем план-матрицу эксперимента. Выбран полнофакторный эксперимент 3^2 (2 фактора, 3 уровня). Всего 9 комбинаций факторов:

Таблица 1 – План-матрица 3^2

№ опыта	x_1 (скорость, V, км/ч)	x_2 (норма высева, N, млн шт/га)	x_1x_2 (взаимодействие факторов)
1	–1	–1	+1
2	–1	0	0
3	–1	+1	–1
4	0	–1	0
5	0	0	0
6	0	+1	0
7	+1	–1	–1
8	+1	0	0
9	+1	+1	+1

Далее, исходя из размеров поля, были рассчитаны делянки для проведения опыта, представлены на рисунке 1.

Метод непосредственного нахождения семян в почве. Для этого осторожно вскрывают ряды, послойно смещая почву поперёк хода сеялки, до нахождения нескольких семян в каждом ряду. Затем со стороны ненарушенной поверхности почвы вдоль ряда накладывают линейку так, чтобы один её край располагался над рядом вскрытых семян, и измеряют расстояние от семян до нижней стороны линейки [7].

Контроль факторов. Скорость трактора — фиксируют по спидометру. Норма высева — проверяют взвешиванием высеянных семян на эталонной площади (1–5 м²) в трёх точках каждой делянки.

Далее проводится статистическая обработка данных по методике дисперсионного анализа по следующим формулам.

Среднее арифметическое значение определяется по выражению

$$y_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (1)$$

где x_i — измеренное значение; n — количество измеренных значений (объём выборки).

В данном опыте: для каждой из 9 делянок (по матрице планирования) рассчитывается средняя глубина заделки по результатам 5–10 измерений.

Дисперсия определяется зависимостью:

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_{\text{ср}})^2, \quad (2)$$

В данном опыте: рассчитывается дисперсия для каждой делянки отдельно. Сравнивается дисперсия между вариантами — например, влияет ли скорость трактора на равномерность заделки.

Среднее отклонение определяется по формуле:

$$\sigma = \sqrt{D}, \quad (3)$$

В данном опыте: если $\sigma = 1,2$ см при средней глубине 8 см, это означает, что большинство замеров лежат в диапазоне 6,8–9,2 см. Если $\sigma > 2$ см — неравномерность заделки критична.

Критерий Фишера -F определяется зависимостью:

$$F = \frac{D_{\text{большая}}^2}{D_{\text{меньшая}}^2}, \quad (4)$$

Стандартная ошибка среднего (SE) определяется как

$$SE = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (5)$$

Границы доверительного интервала выражаются зависимостью

$$Y_{\text{нижн}} = x - t_{\text{крит}} \cdot SE \quad (6)$$

$$Y_{\text{верх}} = x + t_{\text{крит}} \cdot SE \quad (7)$$

где: $Y_{\text{нижн}}$ — нижняя граница интервала; $Y_{\text{верх}}$ — верхняя граница интервала; x — среднее значение интервала; $t_{\text{крит}}$ — табличное значение критерия Стьюдента.

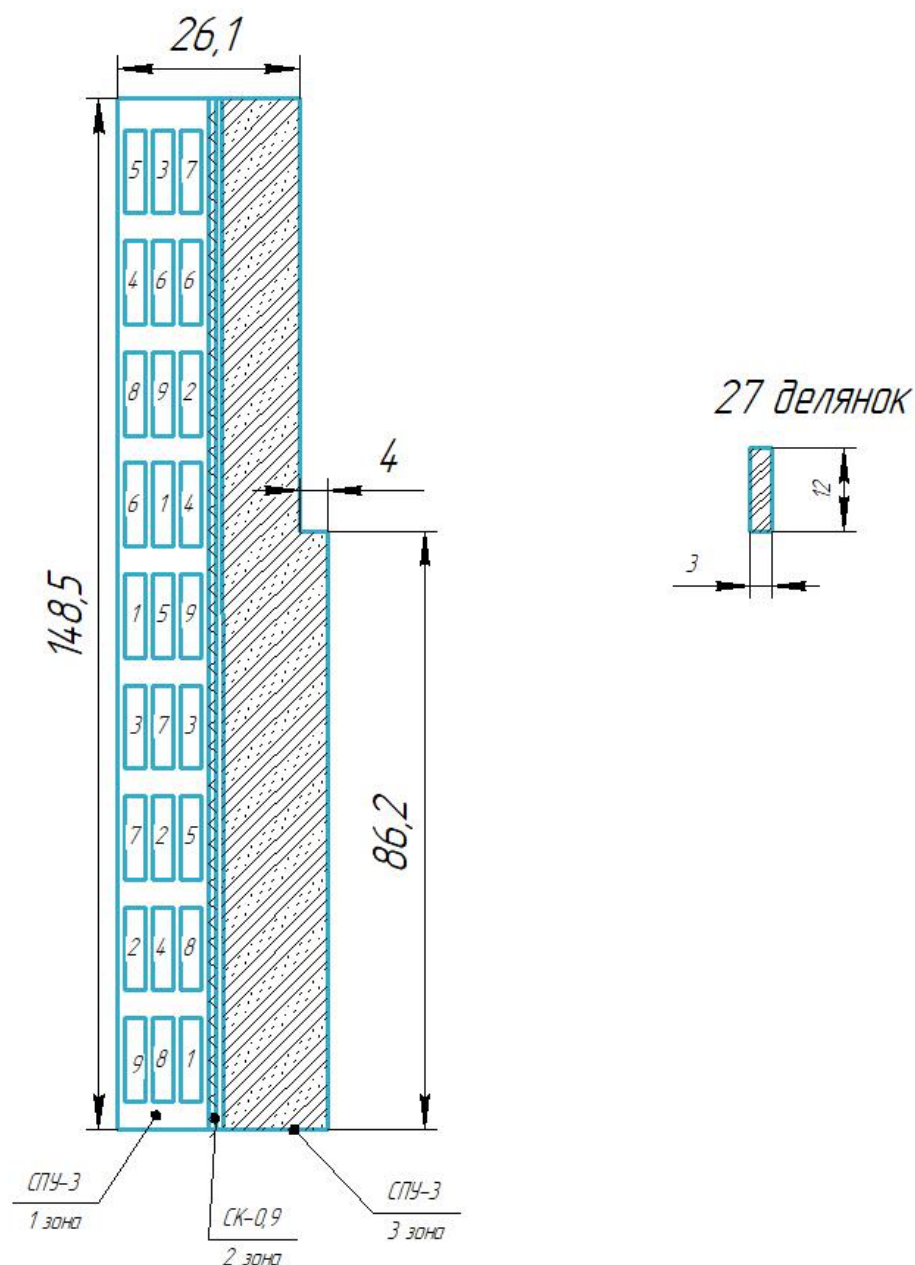


Рисунок 1. Расчет делянок

После происходит построение регрессионной математической модели. Уравнение регрессии в кодированных переменных (x_1 – скорость, x_2 – норма высева) с квадратичными членами:

$$h = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2$$

где: x_1, x_2 – кодированные значения факторов (от -1 до $+1$); b_0 – свободный член (среднее по всем опытам); b_1, b_2 – линейные коэффициенты влияния факторов; b_{12} – коэффициент взаимодействия; b_{11}, b_{22} – квадратичные коэффициенты.

Коэффициенты рассчитывают методом наименьших квадратов.

Далее на этапе интерпретации результатов проведённого факторного эксперимента последовательно выполняют следующие действия.

Сначала оценивают вклад каждого фактора в изменение глубины заделки семян (h) – для этого анализируют абсолютные величины линейных

коэффициентов регрессии $|b_1|$ (для скорости трактора x_1) и $|b_2|$ (для нормы высева x_2). Чем больше значение коэффициента, тем сильнее соответствующий фактор влияет на отклик.

Далее анализируется взаимодействие факторов: обращают внимание на знак и величину коэффициента b_{12} . Положительный знак b_{12} указывает на совместное действие факторов усиливает их индивидуальное влияние на глубину заделки. Отрицательный знак свидетельствует об обратном эффекте: факторы частично оказывают влияние друг друга. Статистическая значимость b_{12} (при $p < 0,05$) подтверждает, что взаимодействие факторов действительно играет роль в формировании отклика.

Затем проверяют наличие квадратичных эффектов, оценивая значимость коэффициентов b_{11} (для x_1^2 , скорости трактора) и b_{22} (для x_2^2 , нормы высева). Если эти коэффициенты статистически значимы, это говорит о нелинейном характере зависимости глубины заделки от соответствующего фактора — например, о наличии оптимума или экстремума в исследуемом диапазоне.

Для наглядного представления зависимостей строят серию графиков: графики (x_1) при фиксированных значениях $x_2 = -1, 0, +1$, показывающие, как меняется глубина заделки при изменении скорости трактора на разных уровнях нормы высева; графики $h(x_2)$ при фиксированных значениях $x_1 = -1, 0, +1$, иллюстрирующие влияние нормы высева на глубину заделки при разных скоростях движения агрегата; трёхмерную поверхность отклика $h(x_1, x_2)$, визуализирующую совместное влияние обоих факторов на отклик и позволяющую выявить области оптимальных значений.

После анализа коэффициентов и графиков определяют оптимальные комбинации кодированных факторов (x_1 и x_2), при которых глубина заделки семян h наиболее близка к агротехническому значению 2,0–3,0 см [8]. Это позволяет найти настройки сеялки, обеспечивающие наилучшее качество посева льна-долгунца.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хайлис, Г. А. Исследования сельскохозяйственной техники и обработка опытных данных / Г. А. Хайлис, М. М. Ковалёв. — Москва: Колос, 1994. — 169 с.: ил. — ISBN 5-10-003090-9.
2. Методика лабораторных исследований высевающих аппаратов для возделывания мелкосеменных культур (А. С. Фирсов, А. К. Марков, В. В. Голубев) // «Агротехника и энергообеспечение». — 2014. — Т. 1. — №1. — С. 73–77.
3. Методика полевого испытания пневматического высевающего аппарата (В. В. Голубев, Д. М. Рула, А. С. Фирсов) // «Инновационные и нанотехнологии в системе стратегического развития АПК региона»: сб. науч. тр. — Тверь, Тверская ГСХА. — 2013. — С. 224–227.
4. Методика проведения лабораторных испытаний пневматического высевающего аппарата сеялок (А. С. Фирсов, В. В. Голубев) // «Инновационные

и нанотехнологии в системе стратегического развития АПК региона»: сб. науч. тр. — Тверь, Тверская ГСХА.

5. Фирсов, А. С. Методика и результаты лабораторных испытаний льнотеребильной секции льноуборочного комбайна / А. С. Фирсов, А. В. Виноградов // Образование, инновации, цифровизация: взгляд регионов: сборник научных трудов по материалам Всероссийской (национальной) научно-практической конференции (Тверь, 2022). — Тверь: Издательство Тверской ГСХА, 2022. — С. 321–324. — УДК 631.358:633.521.

6. Ковалёв, М. М. Результаты лабораторного эксперимента теребильного аппарата для льна долгунца / М. М. Ковалёв, А. С. Фирсов, А. В. Виноградов // Наука в Центральной России. — 2025. — № 3 (75). — С. 85–93. — ISSN 2305 2538. — УДК 631.358.

7. ГОСТ 31345–2017. Техника сельскохозяйственная. Сеялки тракторные. Методы испытаний. — Введ. 2019–03–01. — Москва: Стандартинформ, 2018. — 48 с.

8. Отраслевой регламент. Возделывание и уборка льна-долгунца. Типовые технологические процессы / НАН Беларуси, Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию, РУП «Институт льна»; представители гос. заказчиков: П. П. Казакевич, В. В. Гракун; рук. разработ.: И. А. Голуб. — Минск: РУП «Институт льна», 2018. — 35 с. — УДК 633.521(083.74).

REFERENCES

1. Khailis, G. A. Research of agricultural machinery and processing of experimental data / G. A. Khailis, M. M. Kovalev. — Moscow: Kolos, 1994. — 169 p. : ill. — ISBN 5-10-003090-9.

2. Methodology for laboratory studies of seeding devices for cultivating small-seeded crops (A. S. Firsov, A. K. Markov, and V. V. Golubev) // "Agrotechnology and Energy Supply". — 2014. — Vol. 1. — No. 1. — Pp. 73–77.

3. Methodology for Field Testing of a Pneumatic Seeding Apparatus (V. V. Golubev, D. M. Rula, and A. S. Firsov) // Innovative and Nanotechnologies in the System of Strategic Development of the Regional Agro-Industrial Complex: Collection of Scientific Papers. — Tver, Tver State Agricultural Academy. — 2013. — Pp. 224–227.

4. Methodology for conducting laboratory tests of pneumatic seeding apparatus of seeders (A. S. Firsov, V. V. Golubev) // «Innovative and nanotechnologies in the system of strategic development of the regional agro-industrial complex»: collection of scientific papers. — Tver, Tver State Agricultural Academy.

Firsov, A. S. Methodology and Results of Laboratory Tests of the Flax-Threshing Section of a Flax Harvester / A. S. Firsov, A. V. Vinogradov // Education, Innovation, and Digitalization: A Regional Perspective: Collection of Scientific Papers Based on the Materials of the All-Russian (National) Scientific and Practical Conference (Tver, 2022). — Tver: Tver State Agricultural Academy Publishing House, 2022. — Pp. 321–324. — UDC 631.358:633.521.

6. Kovalev, M. M. Results of a Laboratory Experiment on a Threshing Machine for Flax / M. M. Kovalev, A. S. Firsov, and A. V. Vinogradov // Science in Central Russia. — 2025. — No. 3 (75). — Pp. 85–93. — ISSN 2305 2538. — UDC 631.358.
7. GOST 31345–2017. Agricultural machinery. Tractor seeders. Test methods. — Introduction. 2019–03–01. — Moscow: Standartinform, 2018. — 48 p.
8. Industry regulations. Cultivation and harvesting of flax. Typical technological processes / National Academy of Sciences of Belarus, Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agriculture, RUE "Flax Institute"; representatives of state customers: P.

ИЗЫСКАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА СЕЛЕКЦИОННОЙ СЕЯЛКИ

С.С. Алексеев, Г.Е. Шардина, Е.Е. Демин

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии
и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация: в статье представлены некоторые типы высевяющих аппаратов селекционных сеялок, применяемых в современных условиях, рассмотрены физические принципы, влияющие на точность высева и алгоритм работы современного селекционного аппарата.

Ключевые слова: высевяющий аппарат, селекция, семена, селекционная сеялка.

Original article

SEARCH FOR A RATIONAL TECHNOLOGICAL SCHEME FOR THE SOWING APPARATUS OF A SELECTION SOWER

S.S. Alekseyev, G.E. Shardina, E.E. Demin

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after
N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Abstract: The article presents some types of seeding devices for selective seeders used in modern conditions, and discusses the physical principles that affect the accuracy of seeding and the algorithm of operation of a modern selective device.

Keywords: seeding apparatus, selection, seeds, selection seeder.

Введение. В современных условиях ведения сельского хозяйства подбор рациональных технологических схем высевяющих аппаратов для селекции семенного фонда обусловлен совокупностью факторов: дефицит отечественных высокотехнологичных решений — в сегменте мелкосеменных культур доля импорта достигает 85 %; санкционные ограничения — нарушение цепочек поставок запчастей и сервисного обслуживания; рост требований к точности посева — современные агротехнологии допускают отклонение нормы высева не более 2–3 %; энергоэффективность — необходимость снижения затрат на ГСМ (до 20 % себестоимости продукции); кадровый дефицит — требуются аппараты с автоматизированной настройкой для операторов низкой квалификации.

Рассмотрим типы высевяющих аппаратов, применяемых в селекции (рисунок 1).

Наиболее широкое распространение в селекционных сеялках получили пневматические вакуумные дисковые аппараты (рисунок 2). Принцип их действия основан на создании разрежения с одной стороны перфорированного диска, благодаря чему семена присасываются к отверстиям, переносятся к точке сброса, где вакуум отключается, и семя под действием силы тяжести или дополнительного выталкивателя падает в борозду.



Рисунок 1. Классификация селекционных высевальных аппаратов

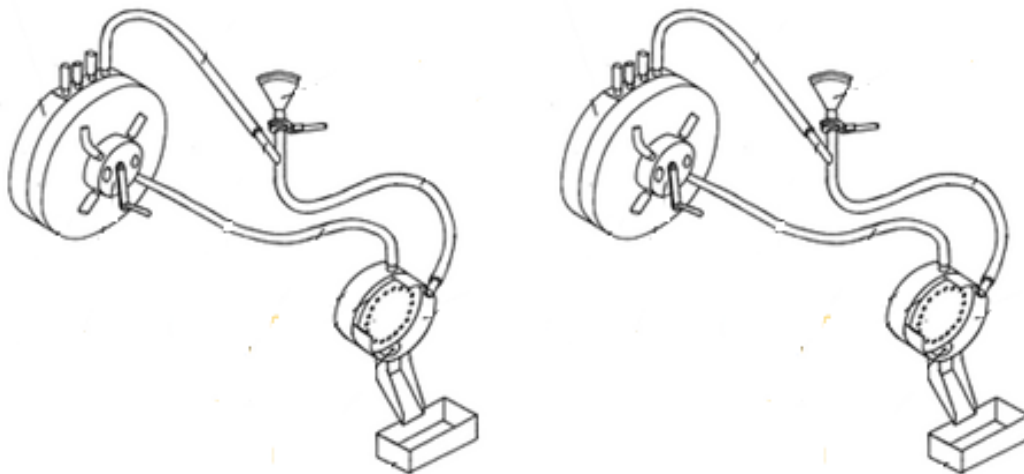
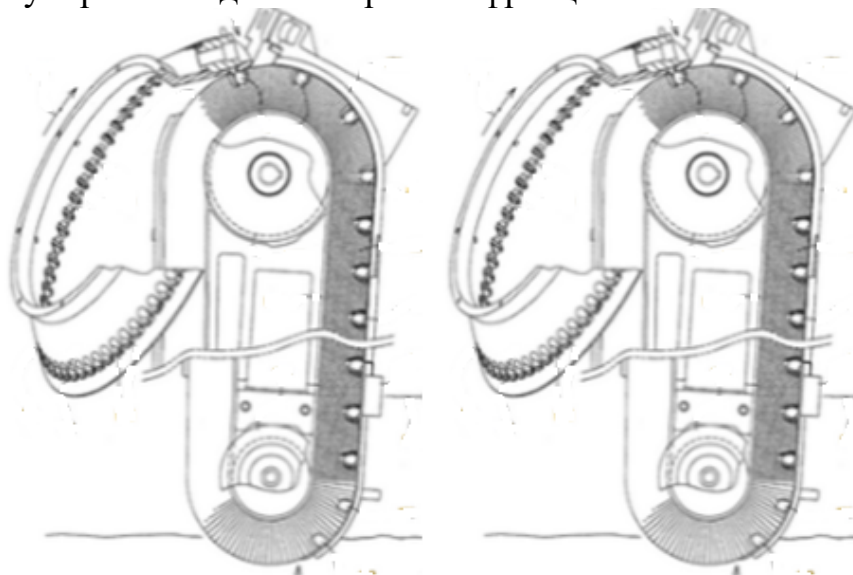


Рисунок 2. Вакуумные дисковые высевальные аппараты

Ключевое конструктивное требование здесь — наличие быстросменных дисков с разным количеством отверстий и их диаметром в диапазоне от 0,8 до 11 миллиметров, а также возможность регулировки уровня вакуума в пределах от 0,2 до 1,0 атмосферы в зависимости от крупности, формы и массы семян. Например, для рапса требуется высокое разрежение, но очень мелкие отверстия, чтобы не захватить два семени одновременно, а для кукурузы — низкое разрежение, но крупные ячейки конической или цилиндрической формы.

Для культур, чувствительных к механическому травмированию, таких как соя, нут или бобы, применяются механические щеточные и ячейисто-ленточные аппараты (Рисунок 3). В них семена захватываются эластичными ячейками на полиуретановой ленте или резиновом ролике, а избыток семян удаляется вращающейся щеткой. Достоинство этого типа — минимальное повреждающее воздействие на оболочку и зародыш. Недостаток — меньшая частота посева и сложность регулировки под семена разной фракции.



**Рисунок 3. Механические щеточные и ячейисто-ленточные
высевающие аппараты**

Для лабораторных сеялок малого объема используются электромагнитные аппараты, но только для дражированных семян с ферромагнитным покрытием, что позволяет управлять захватом и сбросом путем включения и выключения электромагнита. Такие аппараты обеспечивают идеальную односемянность, но крайне медленны и непригодны для полевых работ.

Качество работы высевающего аппарата определяется балансом нескольких физических сил.

Первая сила — вакуумное притяжение, которое удерживает семя у отверстия диска. Оно должно быть достаточным, чтобы семя не упало при тряске и вибрации сеялки, но не настолько сильным, чтобы втянуть его в канал или деформировать.

Вторая сила — центробежная, возникающая при вращении диска. На высоких оборотах она стремится сбросить семя раньше времени, поэтому для крупных семян частоту вращения диска ограничивают.

Третья сила — трение семени о поверхность диска и направляющие. Сухие и гладкие семена скользят легче, протравленные и влажные — прилипают и создают задержки.

Для стабилизации процесса селекционные аппараты часто оснащают вибратором бункера, который предотвращает зависание семян в воронке и обеспечивает равномерное поступление к диску. Наконец, важную роль играет электростатический заряд, накапливающийся на семенах и пластиковых деталях.

В селекционных аппаратах премиум-класса применяются антистатические покрытия и ионизаторы воздуха в зоне захвата.

Заключение. Высевающий аппарат для селекционной сеялки — это не серийный узел, а специализированный прецизионный инструмент, обеспечивающий три главных параметра: односемянность с коэффициентом вариации не более 5–12% в зависимости от культуры, отсутствие смешивания сортов благодаря продувке и антистатическим материалам, а также сохранение всхожести за счет ограничения механических и вакуумных нагрузок. Только при выполнении этих условий результаты полевого опыта будут признаны статистически достоверными, а селекционер сможет с уверенностью утверждать, что разница в урожайности между деланками вызвана генетическими различиями, а не ошибкой высевающей техники.

В перспективе развитие селекционных высевающих аппаратов идет по пути полной роботизации с автоматической сменой дисков, промывкой пневмосистемы и интеграцией с лабораторными базами данных, чтобы каждая деланка засеивалась с учетом результатов предыдущих полевых измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент РФ № 2582366. Пневматический высевающий аппарат. 2016.
2. ЕР 3501321. Дисковый высевающий аппарат с вакуумной системой. 2019.
3. ГОСТ 15.011-96. Система разработки и постановки продукции на производство. Патентные исследования.

REFERENCES

1. Patent RF No. 2582366. Pneumatic seeding apparatus. 2016.
2. EP 3501321. Disc seeding apparatus with a vacuum system. 2019.
3. GOST 15.011 96. System for developing and putting products into production. Patent research.

ПОИСК ПУТЕЙ ВОСПРОИЗВОДСТВА СЕМЕННОГО ФОНДА

С.С. Алексеев, Г.Е. Шардина, Е.Е. Демин

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии
и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация: в статье представлены некоторые пути преодоления проблем, возникших в современных условиях ведения сельского хозяйства с точки зрения производства отечественного семенного фонда.

Ключевые слова: воспроизводство, селекция, семена, селекционная сеялка.

Original article

SEED FUND REPRODUCTION PATHWAYS

Alekseyev S.S., Shardina G.E., Demin E.E.

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after
N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Abstract: The article presents some ways to overcome the problems that have arisen in modern agricultural conditions in terms of domestic seed production.

Keywords: reproduction, selection, seeds, selection seeder.

Введение. В условиях современности, когда недружественные страны чинят препятствия для развития экономики страны, возникла острая необходимость в воспроизводстве семян различных культур. Селекция и семеноводство должно развиваться ускоренными темпами. Необходимо выработать рекомендации по импортозамещению.

В селекционных и семеноводческих работах ключевым требованием к посевной технике является не производительность, а воспроизводимость результата и исключение ошибок при закладке полевых опытов. В отличие от товарного посева, где допустима определенная вариативность, селекционная делянка требует абсолютной идентичности условий для каждого растения в пределах опыта. Высевающий аппарат в таких сеялках превращается из простого дозатора в высокоточный измерительный прибор.

Анализ рынка РФ показал его текущее состояние: доля импортной техники — 65–80 % в крупных агрохолдингах; основные поставщики: Германия (Claas, Amazone), США (John Deere), Китай (Zoomlion); дефицит отечественных аналогов в сегменте точного высева.

Проблемы импортозамещения: отсутствие производств высокоточных компонентов (датчиков, сервоприводов); нехватка квалифицированных кадров в машиностроении; высокие затраты на НИОКР.

Специфика селекционного посева. Промышленные сеялки допускают погрешность высева 2–3 сантиметра по длине рядка и 3–5% пропусков или двойников, но для селекционных делянок это недопустимо, так как даже единичный сдвиг растения исказит статистическую обработку урожайности по всей учетной площади. Поэтому селекционный высевающий аппарат работает не в режиме потока, а в режиме штучного отсчета с точностью до одного семени и коэффициентом вариации меж растений не более 5–8% для пропашных культур и 10–12% для зерновых.

Дополнительным требованием становится возможность быстрой переналадки под разные нормы высева, глубину заделки и междурядья, а также полная очистка от семян предыдущего сорта или гибрида за минимальное время.

Конструктивные требования для чистоты эксперимента. Конструкция селекционного высевающего аппарата подчиняется жестким требованиям чистоты эксперимента. Прежде всего, необходимо отсутствие так называемого эффекта памяти, когда при смене сорта внутри аппарата остаются предыдущие семена. Даже три-пять оставшихся зерен способны прорасти на чужой делянке и при визуальной оценке браковки они будут удалены, но при автоматической цифровой оценке урожайности комбайном с системой GPS эти инородные растения попадут в учет и исказят результат.

Достигается чистота за счет нескольких решений.

Во-первых, применение полированного алюминия или антистатического углепластика в корпусе, к которым семена не прилипают.

Во-вторых, геометрия корпуса исключает мертвые зоны и карманы, где могут застревать семена.

В-третьих, обязательное наличие пневмоклапана продувки, который после завершения высева одной делянки и перед переходом на следующую выдувает остатки сжатым воздухом давлением 1–2 атмосферы в специальный уловитель-контейнер, который затем опорожняется вручную.

Также важна бережная транспортировка семян. Скорость вращения диска ограничена обычно до 2–3 метров в секунду на окружности диска, что для диска диаметром 20 сантиметров соответствует частоте вращения 2–3 оборота в секунду.

Особую проблему представляют семена с низкой твердостью, например, некоторые гибриды кукурузы с нежной структурой эндосперма. Для них разработаны диски с силиконовыми вкладышами в ячейках, которые обволакивают семя без жесткого контакта с твердым пластиком или металлом.

Вакуум регулируется плавно, с помощью редуктора или электронного контроллера, чтобы не раздавить мягкие семена.

Привод и синхронизация: исключение пробуксовок. В товарных сеялках привод высевающего аппарата часто осуществляется цепью или шестерней от опорно-приводного колеса. При работе на скользких почвах или при поворотах колесо пробуксовывает, и высев прекращается или становится неравномерным. В селекционных работах это недопустимо, потому что на делянке длиной 5–10 метров даже кратковременная пробуксовка приведет к пропуску нескольких растений, и опыт придется перезакладывать. Поэтому в

современных селекционных сеялках используются электрические шаговые двигатели, синхронизированные с энкодером ходовых колес или с высокоточным GPS-навигатором с частотой обновления 20–50 Гц. Шаговый двигатель обеспечивает заданное количество импульсов на один метр пути независимо от того, буксует трактор или нет, потому что он получает сигнал не от колеса, а от датчика реально пройденного пути. Дополнительным преимуществом является возможность программного изменения нормы высева на ходу, что требуется при закладке опытов с разной густотой стояния растений.

Заключение. Воспроизводство семенного фонда возможно при решении ключевых проблем: использовании высокодоходных культур (будут оправданы точные системы); эффективного режима эксплуатации машинного парка (селекционная техника имеет низкую загрузку); применение отечественных машин (резкий дефицит запчастей для импортной техники).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Минькач, Т.В. Основы селекции и семеноводства. Практикум для обучающихся по направлению подготовки 35.03.04 Агрономия. / Т. В. Минькач; Дальневост. гос. аграр. ун-т, ФАЭ. – Благовещенск: Изд-во Дальневосточного ГАУ, 2020.

REFERENCES

Minkach, T.V. Fundamentals of breeding and seed production. Workshop for students in the field of training 03/35/04 Agronomy. / T. V. Minkach; Far Eastern State Agrarian University. University, PHAE. – Blagoveshchensk: Publishing House of the Far Eastern State Agrarian University, 2020.

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯННОГО МАТЕРИАЛА В СЕМЕНОВОДСТВЕ

А.В. Данилин, И.В. Шишкин, В.С. Силкин.

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация: на основе анализа литературных источников в статье представлены методы сушки семенного материала, применяемых в семеноводстве.

Ключевые слова: сушка, семеноводство, семенной материал, семена, зерносушилки.

Original article

ANALYSIS OF TECHNOLOGIES FOR POST-HARVEST PROCESSING OF SEED MATERIAL IN SEED PRODUCTION

A.V. Danilin, I.V. Shishkin, V.S. Silkin

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Annotation: based on the analysis of literary sources, the article presents analysis of technologies for post-harvest processing of seed material in seed production.

Keywords: drying, seed production, seed material, seeds, grain dryers.

В семеноводстве сушка зерна является одним из основных этапов подготовки зерна к хранению. Этот неотъемлемый процесс позволяет сохранять всхожесть зерна и защитить семена от мышей, долгоносиков и клещей в хранилищах. В отличие от промышленной сушки, в семеноводстве удаление влаги из зерна происходит в менее интенсивном режиме, для минимизации повреждений и трещин в семенах, которые возникают в следствии разности влаги на просушенном и непросушенном слое в отдельно взятом семени.

Зерносушилки в семеноводстве должны соответствовать ряду технологических требований. Агрегат должен обеспечивать точный температурный контроль для отдельно взятых культур таких как: пшеница, ячмень 40-45 °С; овес, рожь 45-50 °С; кукуруза 36-43 °С; соя 38-43 °С; рапс 30-35 °С. Так же зерносушилка должна обеспечивать периодический нагрев семенного материала, для предотвращения перегрева и распада белков, что напрямую влияет на всхожесть. Перемешивание семенного материала является важным требованием, применяемое к зерносушилкам, так как

перемешивание ускоряет удаление влаги, предотвращает местный перегрев и понижает общую температуру вороха при сушке. Автоматизация завершения процесса удаления влаги до заданного значения упрощает работу с зерносушилкой.

Существуют различные методы удаления влаги из семян, которые обладают рядом преимуществ и недостатков:

Аэрационный метод. Заключается в использовании теплоты, которая требуется для испарения влаги. Она начинает передаваться зерну горячей газовой-воздушной смесью или потоком нагретого воздуха. Ими же из зерна поглощается и выводится испарившаяся влага. Является самым распространённым и универсальным методом сушки. При нем минимизируются потери от механических воздействий и сохраняется всхожесть семян. Но основной недостаток данного метода — это скорость и местные перегревы/ожоги. Снижают последствия недостатков, специальные вибрационные модули, которые, задавая вибрацию лотку или бункеру с зерном, перемешивают семенной материал, тем самым предотвращают перегрев, что напрямую влияет на всхожесть.

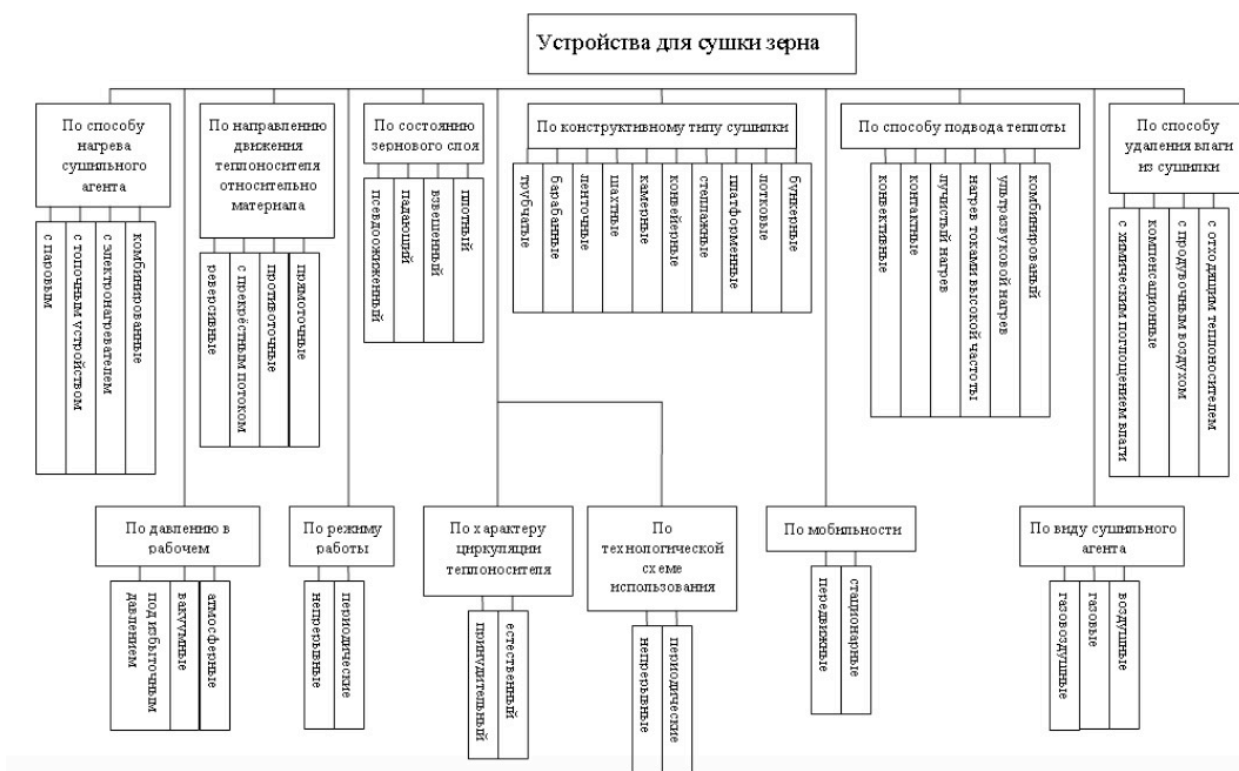


Рисунок 1. Классификация методов сушки

Микроволновый. Уникальная особенность этого метода это- переносить энергию через пространство без необходимости нагрева промежуточной среды, такой как воздух. При его применении быстро повышается температура и давление водяных паров в толще материал, при этом происходит интенсивный перенос пара на поверхность что ускоряет процесс сушки, однако эта же особенность порождает серьезные риски для сохранения посевных качеств семян.

Контактный. Данный метод основан на нагреве металлической конструкции в непосредственном контакте с семенным материалом. Зерносушилки, использующие данный метод сушки, зачастую, модифицируют виброприводом рабочего органа, сообщением возвратно поступательного движения рабочему органу и комбинированием способов теплоотвода. Метод сильно устарел, и не выдерживает конкуренции с современными моделями зерносушилок, основанных на аэрационном методе.

Инфракрасный. При данном методе удаление влаги зерна происходит при помощи электромагнитного излучения, обеспечивающий равномерный нагрев 40-60 °С. Зачастую, этот метод комбинируют с аэрационным, так как в работе как отдельный метод он доказал свою нежизнеспособность. Малый прогреваемый слой равный 12 мм.

Вакуумный. Удаление влаги из семян происходит путем ее испарения при пониженном давлении, которое создается в специальной герметичной камере. При снижении давления температура, при которой вода переходит в газообразное состояние, также падает. Это позволяет проводить процесс сушки при значительно более низких температурах, чем в атмосферных условиях. Например, при давлении около 8-10 кПа вода кипит уже при 40-50 °С. Данный метод гарантирует сохранность белков и ферментов в семенном материале что положительно сказывается на всхожести и сроках хранения. Однако у этого метода есть и значительные недостатки. Высокая стоимость оборудования, длительный процесс сушки и высокое потребление энергии для поддержания вакуума, делают этот метод не слишком распространённым.

В ходе проведенного анализа, были выявлены преимущества и недостатки, которые могут возникнуть в ходе такого сложного процесса как удаление влаги из семенного материала в семеноводстве. Стоит ответственно подходить к выбору зерносушилки, так как выбранный агрегат будет влиять на всхожесть и на длительность хранения, что является одним из основных критериев качества в послеуборочной обработке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малин, Н. И. Технология хранения зерна: учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности 270100 "Технология хранения и перераб. зерна" направления подгот. дипломир. специалиста 655600 "Пр-во продуктов питания из раст. сырья" / Н. И. Малин ; Н. И. Малин. – Москва : КолосС, 2005.
2. Журавлев, А. П. Зерносушение и зерносушилки / А. П. Журавлев. – Кинель : Самарская государственная сельскохозяйственная академия, 2014. – 293 с.
3. Исследование процесса сушки сельскохозяйственных культур в колонковых сушилках / А. С. Дорохов, М. Г. Загоруйко, Ю. В. Катаев, Р. А. Марин. – Москва : Учебно-методический центр "Триада", 2021. – 121 с.
4. Методология исследования энергосберегающих технологических систем обработки сельхозпродукции как объектов управления / А. Н. Васильев, А. С. Дорохов, И. Г. Ершова [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 12, № 4(63). – С. 86-104.

REFERENCES

1. Malin, N. I. Technology of grain storage : textbook. for university students studying in the specialty 270100 "Technology of storage and processing grains" directions of preparation. diploma of the specialist 655600 "Manufacture of food products from rast. raw materials" / N. I. Malin ; N. I. Malin. Moscow : KolosS Publ., 2005.
2. Zhuravlev, A. P. Grain drying and grain dryers / A. P. Zhuravlev. – Kinel : Samara State Agricultural Academy, 2014. – 293 p.
3. Investigation of the drying proces.s of agricultural crops in column dryers / A. S. Dorokhov, M. G. Zagoruiko, Yu. V. Kataev, R. A. Marin. Moscow : Triada Educational and Methodological Center, 2021. 121 p.
4. Methodology for the study of energy-saving technological systems for processing agricultural products as objects of management / A. N. Vasiliev, A. S. Dorokhov, I. G. Ershova [et al.] // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. – 2019. – Vol. 12, No. 4(63). – pp. 86-104.

СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СЕЛЕКЦИОННЫМ СЕЯЛКАМ В СИСТЕМЕ ПЕРВИЧНОГО СЕМЕНОВОДСТВА

С.А. Шишурин, Д.С. Маяков, Е.А. Миронова

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены особенности первичного семеноводства зерновых культур в условиях интенсификации растениеводства. Показана роль высокопродуктивных сортов и системы первичного семеноводства в обеспечении устойчивого роста производства зерна. Проанализированы основные звенья схемы первичного семеноводства: питомник отбора, питомники испытания потомств первого и второго года, а также питомники размножения. Особое внимание уделено требованиям к посеву селекционного материала на ранних этапах селекционного процесса, когда каждая семенная единица представляет высокую ценность. Рассмотрены агротехнические требования, предъявляемые к селекционным сеялкам, обеспечивающим точное дозирование и размещение семян, минимальную травмируемость посевного материала и исключение сортосмешения. Отмечены существующие проблемы технического обеспечения селекционных и семеноводческих работ, связанные с недостаточным уровнем развития отечественных посевных машин. Обоснована необходимость разработки и внедрения современных отечественных селекционных сеялок в рамках политики импортозамещения для повышения эффективности селекционного процесса и конкурентоспособности агропромышленного комплекса России.

Ключевые слова: первичное семеноводство, селекция растений, селекционная сеялка, зерновые культуры, питомник отбора, питомник испытания потомств, питомник размножения, оригинальные семена, посевной материал, агротехнические требования, точный высев, импортозамещение, сельскохозяйственная техника, растениеводство, сортовые качества.

Original article

MODERN REQUIREMENTS FOR SELECTIVE SEEDERS IN THE SYSTEM OF PRIMARY SEED PRODUCTION

S.A. Shishurin, D.S. Mayakov, E.A. Mironova

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Abstract: The article discusses the features of primary seed production of grain crops in conditions of intensification of crop production. The role of highly productive varieties and the primary seed production system in ensuring sustainable growth in

grain production is shown. The main links of the primary seed production scheme are analyzed: selection nursery, nurseries for testing first and second year offspring, as well as breeding nurseries. Particular attention is paid to the requirements for sowing breeding material at the early stages of the breeding process, when each seed unit is of high value. The agrotechnical requirements for breeding seeders that ensure accurate dosing and placement of seeds, minimal damage to seed and the elimination of variety mixing are considered. The existing problems of technical support for selection and seed-growing work associated with the insufficient level of development of domestic sowing machines are noted. The need for the development and implementation of modern domestic breeding seeders within the framework of the import substitution policy to increase the efficiency of the breeding process and the competitiveness of the Russian agro-industrial complex is substantiated.

Keywords: primary seed production, plant selection, selection seeder, grain crops, selection nursery, progeny testing nursery, propagation nursery, original seeds, seed material, agrotechnical requirements, precision seeding, import substitution, agricultural machinery, plant growing, varietal qualities.

Отрасль растениеводства все в большей степени переходит на интенсивное производство зерна. Валовые сборы в последние пять лет (без учета новых регионов) достигают 100-130 млн. т. пшеницы, ячменя, кукурузы, а также зернобобовых культур [1].

Известно, что происходит это не только за счет совершенствования зональных технологий, но и, что очень важно, благодаря внедрению в производство новых высокопродуктивных сортов [2].

Схема первичного семеноводства включает в себя звенья представлены на рисунке 1.

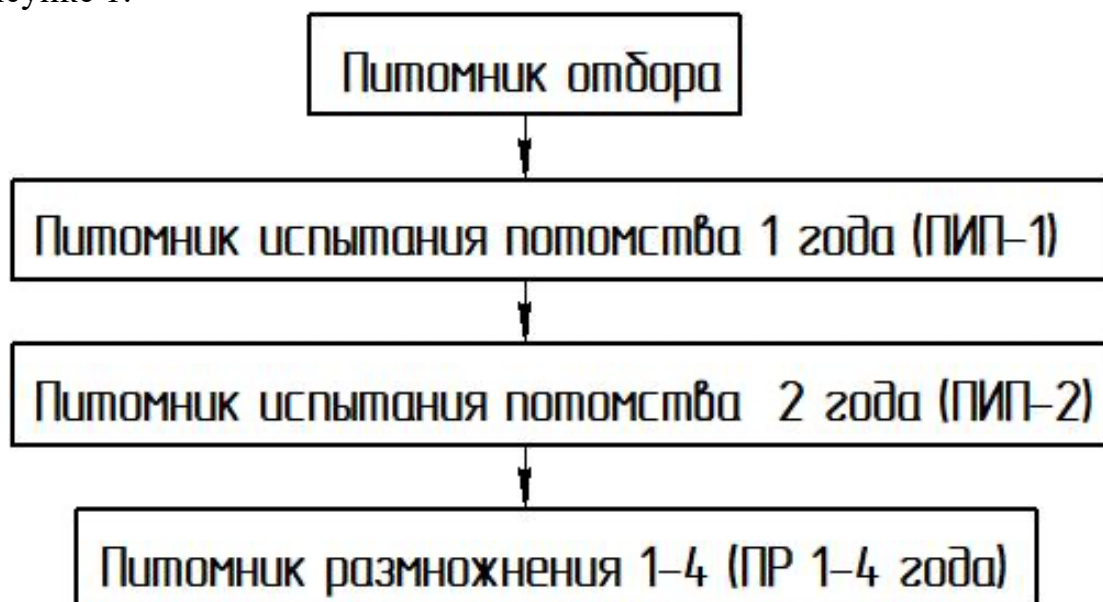


Рисунок 1. Схема первичного семеноводства

Питомник отбора служит для выбора элитных растений которые являются родоначальниками элиты. Питомником отбора могут быть посеы питомника размножения оригинальных семян, элиты или специальный посев

питомника отбора. Для закладки питомника испытания потомств 1 года выбирают типичные растения не пораженные болезнями, не полегающие, не осыпающиеся.

Питомник испытания потомств первого года (ПИП – 1) закладывают семенами отобранных элитных растений. Число потомств в этом питомнике зависит от коэффициента размножения семян этой культуры и плана заказа на производство элиты, во всех случаях это число должно быть не меньше 300.

Питомник испытания потомств второго года (ПИП-2) предназначен для дальнейшего отбора лучших и выбраковки худших потомств. Размещают его по лучшему предшественнику, высевают широкорядно, каждое потомство в отдельный рядок. Для контроля через каждые 20 – 30 метров высевают стандарт (семена элиты прошлого выпуска), оценки те же, что и для ПИП – 1.

Питомник размножения 1 – 4 года (ПР 1 – 4) его целью является максимально быстро размножить семена данного сорта и сохранить высокую сортовую частоту и урожайные качества. Семена здесь высевают с пониженной нормой (1/2).

На ранних этапах селекции и семеноводства (селекционные, коллекционные, гибридные питомники и питомники отбора) высеваются образцы, содержащие небольшое количество семян. При посеве первых поколений гибридов, редких сортов, потомств отдельных растений количество семян в образце колеблется от 20 шт. до 100 шт., что объясняется не только схемой и методикой селекционного процесса, но часто и отсутствием большего количества посевного материала. Каждое семя в таких образцах представляет ценность. Необходимо, чтобы в высевальном аппарате не оставалось мертвого запаса, весь образец должен быть посеян без остатка, т.к. каждому из семян определено место в рядке, а также агротехнические требования предполагают исключение механического повреждения семян [3].

Для посева на различных этапах от создания исходных популяций до сортоиспытания и первичного семеноводства применяются селекционные сеялки. Они обеспечивают точное размещение семян в рядке с заданной нормой посева, что критически важно для получения качественных посевов и выведения новых сортов.

К селекционным сеялкам предъявляются высокие агротехнические требования, среди которых:

- точное размещение семян в рядке с заданной нормой посева;
- минимальная травмируемость посевного материала;
- возможность быстрой очистки посевного материала;
- обеспечение равномерности распределения семян на различных этапах селекции;
- исключение сортосмешения.

При этом отмечается, что технический уровень отечественных посевных машин для механизации работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве остается недостаточно высоким. В некоторых случаях посев питомников первого этапа осуществляется ручными сеялками с низкой производительностью и малым объемом бункера.

На основании выше изложенного в настоящее время необходимо развивать производство отечественной селекционной техники в том числе в рамках программы импортозамещения, что в свою очередь способствует повышению технологического потенциала агронауки и конкурентоспособности отечественного АПК[4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валовые сборы сельскохозяйственных культур в Российской Федерации // Сборник Федеральной службы государственной статистики (РОССТАТ), часть 1 – Москва, – 2024
2. Лукина Е.А., Крицкий А.Н., Федотов В.А., Кадыров С.В. Семеноведение и семенной контроль: Учебное пособие под редакцией профессора Федотова В.А. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра 1», – 2012 – 269 с.
3. Литвинов М.А. Разработка автоматизированного привода высевающего аппарата селекционной сеялки. ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», - 2022 – 163с.
4. Распоряжение правительства Российской Федерации №1796-р от 10 августа 2019 г. «Долгосрочная стратегия развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 года».

REFERENCES

1. Gross yields of agricultural crops in the Russian Federation // Collection of the Federal State Statistics Service (ROSSTAT), part 1 - Moscow, - 2024
2. Lukina E.A., Kritsky A.N., Fedotov V.A., Kadyrov S.V. Seed science and seed control: Textbook edited by Professor Fedotov V.A. – Voronezh: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education “Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter 1”, – 2012 – 269 p.
3. Litvinov M.A. Development of an automated drive for the sowing apparatus of a selection seeder. Federal State Budgetary Institution "Federal Scientific Agroengineering Center VIM", - 2022 - 163 p.
4. Order of the Government of the Russian Federation No. 1796-r dated August 10, 2019 “Long-term strategy for the development of the grain complex of the Russian Federation until 2035.”

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ЦИКЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПРУЖИН С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ

В.В. Васильчиков, Д.А. Николаев, В.Е. Фокин, К.С. Просвирнин
Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия.

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы методологии проведения ресурсных испытаний винтовых цилиндрических пружин, работающих на сжатие. Описаны цели испытаний, применяемое оборудование, последовательность операций и ключевые контролируемые параметры. Особое внимание уделено оценке усталостной прочности, релаксационной стойкости и долговечности пружин в условиях циклических и длительных статических нагрузок. Для проведения ресурсных испытаний цилиндрических пружин малой жесткости предлагается конструкция автоматизированного стенда для циклических испытаний.

Ключевые слова: Циклические испытания, цилиндрические пружины, системы автоматизированного контроля параметров.

Original article

DEVELOPMENT OF A STAND FOR CYCLIC TESTING OF CYLINDRICAL SPRINGS USING AN AUTOMATED PARAMETER MONITORING SYSTEM

Vasilchikov V.V., Nikolaev D.A., Fokin V.E., Prosvirnin K.S.
Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after
N.I. Vavilova, Saratov, Russia

Annotation. The article discusses the methodology of conducting resource tests of helical cylindrical springs operating in compression. The article describes the test objectives, the equipment used, the sequence of operations, and the key parameters to be monitored. Special attention is given to assessing the fatigue strength, relaxation resistance, and durability of the springs under cyclic and long-term static loads. To conduct resource tests of low-stiffness cylindrical springs, an automated cyclic testing stand is proposed.

Key words: Cyclic tests, cylindrical springs, and automated parameter control systems.

Введение. Винтовые цилиндрические пружины являются одними из наиболее распространенных упругих элементов в машиностроении, приборостроении и других отраслях. Их надежность и долговечность напрямую

влияют на безопасность и работоспособность узлов и агрегатов. Ресурсные испытания проводятся для подтверждения расчетного срока службы, выявления скрытых дефектов материала и оценки влияния технологических процессов на эксплуатационные характеристики. Основной задачей таких испытаний является определение способности пружины сохранять свои силовые и геометрические параметры в течение заданного времени или количества циклов нагружения.

Цели и задачи ресурсных испытаний

1. Определение остаточной жёсткости пружины после циклических нагрузок.

2. Оценка пластической деформации (изменения высоты после циклов сжатия).

3. Прогнозирование срока службы пружины на основе данных о снижении жёсткости.

4. Определение релаксационной стойкости (способность сохранять упругую деформацию под постоянной нагрузкой в течение длительного времени).

5. Подтверждение расчетной долговечности и выявление фактического предела выносливости.

6. Контроль стабильности силовых характеристик (жёсткости) на протяжении всего срока службы.

Методика исследований. Для проведения ресурсных испытаний применяются специально разработанный стенда для испытания пружины регулирующего клапана, представлявший собой механическую конструкцию на основе передачи вращательного движения от шагового электродвигателя к направляющей пружины через кулачковый механизм (рисунок 1).

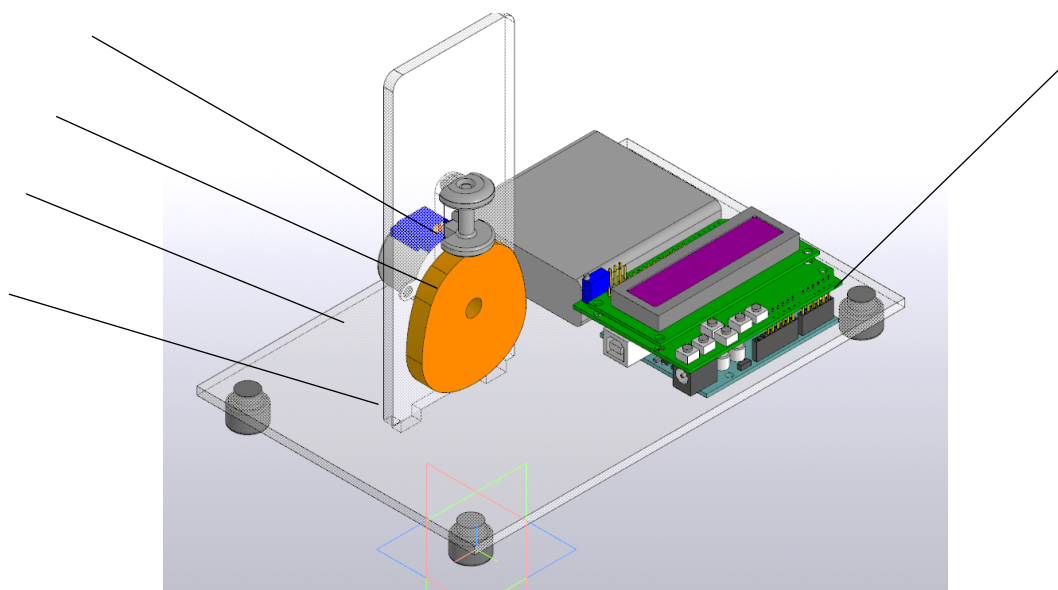


Рисунок 1. Стенд для циклических испытаний цилиндрических пружин малой жесткости. 1- шток, 2 – упор

Для контроля частоты вращения шагового двигателя и заданного числа циклов нагружения в конструкцию стенда включен контроллер типа STM32

Для удобства управления режимам усыпительного стенда установлен монохромный ЖК-дисплей с клавишами управления.

Циклические испытания с применением разработанного стенда включает в себя несколько этапов:

1. На шток 1 устанавливается пружина для испытаний
2. Прижим устройством 2 фиксируем пружину, исключая ее свободный ход
3. Ввод параметров с помощью клавиш панели управления. Эти параметры отображаются на двухстрочном экране ЖК
4. Запускаем цикл испытаний (при этом кулачок 3 приводится движение при помощи шагового двигателя, который обеспечивает необходимое число оборотов в минуту (15-16 оборотов в минуту))
5. После окончания (100000 циклов) контролер стенда автоматически останавливает работу, число циклов высвечивается на ЖК экране.
6. После проведения заданного цикла испытаний заносим в протокол результаты испытаний и делаем анализ данных.
7. Цикл испытаний повторяется.

После проведения заданного цикла испытаний образец (пружина) извлекается из фиксаторов испытательного стенда и проводится статически испытания пружины для определения ее остаточной деформации.

Данный вид испытаний производится на специальных испытательных машинах, типа МИП-10, позволяющих прикладывать к пружине осевую нагрузку (растяжение или сжатие) с заданной амплитудой и частотой. Для измерения геометрических параметров (высота, диаметр, шаг витка) до и после испытаний используется штангенциркуль с высокой точностью (рисунок 2).



**Рисунок 2. Машина для испытаний пружин МИП-10;
а – вид общий, б – схема установки образца пружины для проведения испытаний**

В процессе испытаний контролируются следующие параметры:

- Сила пружины: Измеряется при контрольной деформации.
- Осадка (или удлинение): Изменение высоты пружины под нагрузкой.
- Геометрические изменения: Диаметр проволоки, шаг витков.

Результаты исследований. По завершении испытаний результаты сравниваются с нормативными требованиями и расчетными данными. Пружина считается прошедшей испытание, если она выдержала заданное количество циклов без разрушения и ее силовые характеристики (например, жесткость) изменились в пределах допустимых значений [1]. Для ускоренной оценки долговечности применяются методы ускоренных циклических испытаний, требующие расчетного обоснования режимов нагружения [2-5].

Основные выводы. Ресурсные испытания являются неотъемлемой частью процесса проектирования и производства винтовых цилиндрических пружин. Они позволяют гарантировать надежность изделий, оптимизировать их конструкцию и технологию изготовления, а также прогнозировать поведение упругого элемента в реальных условиях эксплуатации на протяжении всего жизненного цикла.

Представленный стенд для циклических испытаний с автоматизированным контролем параметров позволяет существенно повысить качество оценки надёжности цилиндрических пружин. Интеграция современных датчиков, контроллеров и ПО обеспечивает точный мониторинг ключевых характеристик в реальном времени, автоматическое принятие решений и формирование детализированных отчётов. Такой подход не только сокращает время испытаний, но и даёт ценную информацию для оптимизации конструкции пружин и повышения их долговечности.

Предложенный стенд позволяет проводить ресурсные испытания цилиндрических пружин с высокой точностью и автоматизацией. Система автоматического контроля обеспечивает не только фиксацию параметров, но и прогнозирование поведения пружины в процессе всего срока эксплуатации, что критично для ответственных механизмов (газовые котлы).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 16118-70 Пружины винтовые цилиндрические сжатия и растяжения из стали круглого сечения. М: Стандартинофирм 2005
2. Яблоков В. Г. Станок для испытаний цилиндрических винтовых пружин: а. с. SU 561 095 A1 / Заявитель: Предприятие П/Я Г-4695. — Оpubл. 05.06.1977.
3. Методические указания по испытанию цилиндрических пружин на машинах типа МИП-100-2. Режим доступа: <https://газконтроль.рф/sites/default/files/product-attach/instrukciya-po-ekspluatacii-dlya-mashiny-razryvnoy-mip-100-2.pdf>
4. Паначев, И. А. Лабораторный практикум по сопротивлению материалов: учебное пособие / И. А. Паначев, М. Ю. Насонов. — Кемерово: КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2011. — 220 с. — ISBN 978-5-89070-818-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL:

<https://e.lanbook.com/book/6652> (дата обращения: 15.06.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

5. Механика: учебное пособие / Н. П. Крючин, С. В. Вдовкин, А. Н. Андреев, Д. Н. Котов. — Самара: СамГАУ, 2019. — 165 с. — ISBN 978-5-88575-561-0. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/123506> (дата обращения: 15.06.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

REFERENCES

1. GOST 16118-70 Cylindrical helical compression and extension springs made of round-section steel. Moscow: Standartinofirm, 2005.
2. Yablokov V. G. Testing machine for cylindrical helical springs: Inventor's Certificate SU 561 095 A1 / Applicant: Enterprise P/Ya G-4695. — Published: June 5, 1977.
3. Guidelines for testing cylindrical springs on MIP-100-2 series machines. Access mode: <https://газконтроль.пф/sites/default/files/product-attach/instrukciya-po-ekspluatatsii-dlya-mashiny-razryvnoy-mip-100-2.pdf>
4. Panachev, I. A. Laboratory Course on Strength of Materials : study guide / I. A. Panachev, M. Yu. Nasonov. — Kemerovo : T.F. Gorbachev KuzSTU, 2011. — 220 p. — ISBN 978-5-89070-818-2. — Text : electronic // Lan : electronic library system. — URL: <https://e.lanbook.com/book/6652> (accessed: 15.06.2026). — Access mode: for authorized users.
5. Mechanics : study guide / N. P. Kryuchin, S. V. Vdovkin, A. N. Andreev, D. N. Kотов. — Samara : SamGAU, 2019. — 165 p. — ISBN 978-5-88575-561-0. — Text : electronic // Lan : electronic library system. — URL: <https://e.lanbook.com/book/123506> (accessed: 15.06.2026). — Access mode: for authorized users.

Научное издание

МАТЕРИАЛЫ XXXIX МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
ИМЕНИ В.В. МИХАЙЛОВА

«ПРОБЛЕМЫ ЭКОНОМИЧНОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ
АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ»

Выпуск 39

Компьютерная верстка В.В. Венскайтис

Электронное издание

Адрес размещения:

<https://www.vavilovsar.ru/nauka/konferencii-saratovskogo-gau/2026-g>

ISBN 978-5-7011-0919-1



Размещено 03.08.2026 г.

Объем данных: 25,4 Мбайт. Аналог печ. л. 17,0

Формат 60×84 1/16. Заказ №919

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Саратовский государственный университет генетики,
биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова»

Тел.: 8(8452)26-27-83, email: nir@vavilovsar.ru

410012, г. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина зд. 4, стр. 3.