

СБОРНИК СТАТЕЙ



ЧТЕНИЯ АКАДЕМИКА В.Н. БОЛТИНСКОГО

- Семинар
- Москва
- 2025





*«Писать надо сразу
беловик, а в черновик
он сам превратится.»*

В.Н. Болтинский

Кафедра тракторов и автомобилей Московского института механизации и электрификации сельского хозяйства (ныне РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева), была основана на базе машиноиспытательной станции, созданной в 1914 г. при факультете сельскохозяйственной механики Тимирязевской сельскохозяйственной академии.

Основными научными задачами стали разработка и совершенствование конструкций тракторов и автомобилей, предназначенных для работы в условиях специфики агротехнических процессов, изучение двигателей внутреннего сгорания, трансмиссий, ходовой части и других ключевых узлов машин, адаптация зарубежного опыта к российским условиям. Кроме того, кафедра активно участвовала в разработке методологии испытаний сельскохозяйственной техники, что способствовало повышению их качества и надежности, необходимых для успешного функционирования в полевых условиях. Эти исследования имели огромное значение для повышения производительности труда в сельском хозяйстве и снижения затрат на эксплуатацию техники.

Благодаря активному взаимодействию с промышленностью и аграрными предприятиями, кафедра готовит высококвалифицированных специалистов в области механизации сельского хозяйства, что стало основой последующих достижений в области разработки и внедрения новых технологий, включая автоматизацию и информационные системы.

Таким образом, история кафедры тракторов и автомобилей МИМЭСХ является ярким примером того, как научные исследования и образовательная деятельность могут способствовать прогрессу и развитию целых отраслей экономики.



ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА ИМЕНИ К. А. ТИМИРЯЗЕВА
ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ ИМЕНИ В. П. ГОРЯЧКИНА
КАФЕДРА ТРАКТОРОВ И АВТОМОБИЛЕЙ

**ЧТЕНИЯ
АКАДЕМИКА
В. Н. БОЛТИНСКОГО**

Сборник статей

Москва
ООО «Сам Полиграфист»
2025

УДК 378.4:001:63(092)

ББК 74.48

Ч 77

Под редакцией:

Трухачева Владимира Ивановича – Академика Российской академии наук, доктора сельскохозяйственных наук, доктора экономических наук, профессора, ректора Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»;

Дидманидзе Отари Назировича – Академика Российской академии наук, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой тракторов и автомобилей Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»

Чтения академика В. Н. Болтинского:

сборник статей / Семинар (Москва, 22-23 января 2025 года); под ред. В. И. Трухачева, О. Н. Дидманидзе. – М. : ООО «Сам Полиграфист», 2025. – 388 с.

ISBN 978-5-9675-2065-5

В сборнике представлены результаты актуальных научных исследований ученых, докторантов, преподавателей и аспирантов по результатам проведенного постоянно действующего семинара **«Чтения академика В. Н. Болтинского»**, который состоялся 22-23 января 2025 года.

Сборник предназначен для научных сотрудников и преподавателей высших учебных заведений. Может использоваться в учебном процессе, в том числе в процессе обучения аспирантов, подготовки магистров и бакалавров в целях углубленного рассмотрения соответствующих проблем.

Все статьи сборника прошли рецензирование, сохраняют авторскую редакцию, всю ответственность за содержание несут авторы.

© ООО «Сам Полиграфист», 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Г. Я. Красников, В. И. Трухачев, О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк Гибридный трактор – основа современного сельского хозяйства	17
К. А. Бабкин, О. Н. Дидманидзе, П. В. Сиротин, Е. П. Парлюк Процессный подход подготовки кадров для предприятий специального машиностроения	36
А. С. Дорохов, А. В. Сибирёв, М. А. Мосяков Автоматизированный уборочный комбайн для уборки картофеля с цифровой системой управления очистки.....	57
О. Н. Дидманидзе, А. В. Евграфов, Д. А. Филимонов Детоксикация животноводческих стоков электрическими полями.....	65
А. В. Неговора, И. Р. Исанбердин, Т. Р. Башаров Исследование неравномерности топливоподачи газовыми системами питания распределенного впрыска	72
И. Г. Голубев, В. Я. Гольтяпин Направления импортозамещения комплектующих и запасных частей сельскохозяйственной техники.....	77
А. В. Неговора, М. М. Разяпов, А. А. Козеев, А. В. Степанов Способ регулирования температуры воздушного потока предпускового обогревателя.....	82
И. Ю. Якименко, Р. Т. Хакимов Определение ресурсного потенциала моторного масла в процессе его эксплуатации	88
В. Я. Гольтяпин, И. Г. Голубев, Н. Н. Пуляев Анализ топливной экономичности и углеродного следа тракторов зарубежного производства.....	93
В. А. Шахов, П. Г. Учкин, А. С. Растопчин Обоснование конструктивных параметров универсальной роботизированной платформы	99
В. Н. Андреев, Р. С. Федоткин, В. В. Демичев, Д. М. Дудин Разработка устройства для определения теплопроводности жидких сред	104

О. П. Андреев

Подготовка и проведение внутривузовского чемпионата по стандартам агентства развития профессий и навыков для студентов инженерных специальностей..... 110

А. В. Бижаев, В. Л. Чумаков

Особенности работы колеса трактора с электроприводом 116

Е. А. Варнакова, А. Н. Юденичев, И. С. Паршин

Перспективы развития системы топливообеспечения объектов агропромышленного комплекса 121

Д. В. Варнаков, В. В. Варнаков, И. С. Паршин

Концепция модульного построения автотранспортных средств и технологических машин с гибридными силовыми установками 127

Д. В. Варнаков, В. В. Варнаков, А. Н. Юденичев

Системы дистанционного мониторинга технического состояния агрегатов автотранспортных средств..... 134

С. М. Гайдар

Исследование физико-химических свойств консервационного масла..... 140

А. А. Гамов, Н. Н. Пуляев

Автоматизация управления двигателем для экономии топлива и сокращения вредных выбросов в атмосферу в агропромышленном комплексе 144

П. В. Голиницкий, У. Ю. Антонова, Э. И. Черкасова

Анализ стабильности процесса обработки опорных шеек распределительных валов..... 153

С. Н. Гуцин, Э. Н. Халилов, В. В. Карякин, Я. И. Чечельшило

Влияние сельского хозяйства на военно-экономический потенциал страны 158

Р. Н. Дидманидзе, Н. А. Майстренко, Д. Ю. Фролова

Повышение эффективности транспортных процессов в сельском хозяйстве 170

В. В. Егоров, В. Е. Вильховой

Опыт эксплуатации БПЛА Альбатрос М5 и перспективы его применения в сельском хозяйстве..... 182

<i>Р. Н. Егоров, Н. Н. Пуляев, Д. А. Москвичев, В. А. Крючков, Д. М. Дудин</i> Мониторинг состояния дорожного покрытия с помощью получаемой информации от объектов движения.....	188
<i>Д. С. Комиссаров, А. В. Лавров</i> Перспективы применения колесных шасси автомобильного типа в сельском хозяйстве	194
<i>В. М. Корнеев</i> Повышение эффективности наружной очистки машин.....	202
<i>Н. В. Корнеев</i> Интенсификация процесса погружной очистки гидродинамической кавитацией	207
<i>Д. О. Леонов, В. В. Лазарь, У. Ю. Антонова, Ю. Г. Вергазова, В. К. Зимогорский</i> Интегральные показатели качества вертикально-хонинговальных станков для процесса финишной обработки гильз цилиндров для условий массового производства ремкомплектов	212
<i>О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба, Ю. Г. Вергазова</i> Оценка параметров разбраковки при контроле шатунных шеек коленчатых валов 3МЗ-5245.10	217
<i>Н. А. Майстренко, Р. Н. Дидманидзе, А. А. Спицына</i> Повышение эффективности транспортного процесса звена «комбайн-автомобиль»	221
<i>Г. Е. Митягин, М. К. Бисенов</i> Повторное использование литий-ионных тяговых аккумуляторов для модернизации транспортных и технологических машин как элемент экономики замкнутого цикла	228
<i>Д. А. Москвичев, Н. Н. Пуляев, Р. Н. Егоров, Д. М. Дудин, Н. И. Дегтярев</i> Совершенствование системы навигации автотранспорта с использованием IT	239
<i>С. И. Некрасов, А. Ю. Фомин, А. С. Апатенко</i> Использование методов функционального моделирования в решении задач производственно-технической эксплуатации машин.....	243
<i>Г. А. Нестеркин</i> Контроль поверхности изношенного вала соединения вал-манжета	249

А. Е. Павлов, Д. В. Анашин

Кинематика кривошипно-шатунного механизма встречно-поршневого типа в эллиптических функциях Якоби 254

Я. Д. Павлов, С. Н. Десянин

Оценка технического состояния двигателя по давлению наддува 262

С. В. Першина, А. В. Шутарев

Обоснование решения применения комбинированных систем сжиженных и сжатых газов на крупнотоннажном автомобильном транспорте 268

А. М. Пикина

Применение наноматериалов как способ защиты техники от коррозионного разрушения 276

В. П. Пляка, М. А. Щекин

Особенности исследований комбинированного почвообрабатывающего катка 280

И. И. Руденко, А. С. Апатенко

Стенд для испытания плунжерных пар ТНВД дизельных двигателей 285

И. А. Старостин, А. В. Ещин, С. А. Давыдова, Е. Д. Дегтярева, Г. В. Сысоев

Исторические аспекты развития основных узлов и агрегатов колесных сельскохозяйственных тракторов 290

И.А. Супонев, М. Н. Ерохин

Физико-механические свойства почв и их воздействие на рабочие органы почвообрабатывающих машин 304

Г. Н. Темасова

Роль показателей возможностей в управлении процессами ремонтных предприятий 310

Р. Н. Федоткин, Е. В. Титова, Д. В. Анашин, Д. М. Дудин, Н. И. Дегтярев

Применение системы автоматической подкачки и регулирования давления шин на тракторах сельскохозяйственного назначения 315

Н. К. Толочко, П. В. Авраменко, В. Б. Кравцов, П. В. Голиницкий,

У. Ю. Антонова

Возможность использования металлических многослойных структур при изготовлении корпусных элементов сельскохозяйственной техники 322

Е. В. Труфляк

Агродроны – альтернатива наземных технических средств? 327

<i>Р. С. Федоткин, Д. В. Анашин, Д. М. Дудин</i> Адаптивная трансмиссия для средств малой механизации	333
<i>Р. С. Федоткин, В. Н. Андреев, В. А. Крючков, В. В. Демичев, Д. М. Дудин</i> Особенности применения систем автоматизированного регулирования давления в шинах сельскохозяйственной техники переменной массы.....	341
<i>О. Н. Дидманидзе, Р. С. Федоткин, В. А. Крючков, Д. М. Дудин, Н. И. Дегтярев</i> Особенности воздействия на почву колесным двигателем сельскохозяй- ственных тракторов.....	348
<i>Р. С. Федоткин, В. А. Крючков, К. В. Пихаленко, Н. И. Дегтярев, А. Н. Давлетшин</i> Искусственный интеллект в системе агродронов	355
<i>Р. С. Федоткин, В. А. Крючков, А. А. Федоткина, Н. И. Дегтярев, Д. М. Дудин</i> Обзор конструкций стабилизаторов тангенциальной устойчивости ТГМ сельскохозяйственных тракторов	362
<i>А. Р. Честных</i> Классификация объектов входного контроля на ремонтных предприятиях АПК.....	373
<i>В. Л. Чумаков, А. В. Бижаев, А. В. Капустин</i> Особенности воспламенения смеси в двигателях с искровым зажиганием при глубоком дросселировании	380
<i>Н. А. Шевкун</i> Решение вопросов дезинфекции в рекуперативной теплоутилизационной установке	389

Уважаемые коллеги!

Девятый год я участвую в семинаре, посвящённом памяти выдающегося учёного Василия Николаевича Болтинского, который проводится в Российском государственном аграрном университете – МСХА имени К. А. Тимирязева.

В настоящее время существует острая необходимость в том, чтобы российские аграрии располагали современными и высококачественными машинами, а также квалифицированными специалистами. В этой связи сотрудничество между образовательными учреждениями, производственными компаниями, научно-исследовательскими организациями и государственными органами в области подготовки кадров становится всё более актуальным. Организация конференций, сосредоточенных на современных и значимых темах, таких как искусственный интеллект, цифровизация, ресурсосбережение и энергосбережение в аграрном секторе, а также подготовка кадров для агропромышленного комплекса, представляет собой важный шаг к укреплению позиций нашей страны на ключевых рынках.

Высокий интерес академических деятелей, включая академиков и членов-корреспондентов Российской академии наук к проведению данного мероприятия, служит свидетельством актуальности обсуждаемых вопросов и их значимости в современных экономических условиях.

Уверен, что результаты нашей встречи приведут к конкретным мерам по созданию сельскохозяйственной техники отечественного производства с использованием инновационных технологий, что в свою очередь повысит её конкурентоспособность на международной арене.

Желаю вам успехов и всего наилучшего!

*Президент Российской академии наук,
Академик Российской академии наук
Геннадий Яковлевич Красников*

Дорогие коллеги!

С искренним удовольствием приветствую вас на традиционном семинаре «Чтения академика Василия Николаевича Болтинского». Это знаковое событие объединяет выдающихся ученых, практиков и специалистов в области сельскохозяйственного машиностроения.

Семинар имеет более чем двадцатилетнюю историю и посвящён памяти академика ВАСХНИЛ Василия Николаевича Болтинского, чьё значение в развитии двигателестроения для наземной техники невозможно переоценить. Василий Николаевич Болтинский с 1933 года возглавлял кафедру «Тракторы и автомобили» в Московском институте механизации и электрификации сельского хозяйства (МИМЭСХ), ставшей одной из ведущих в стране. Его труды, среди которых классическое издание «Автотракторные двигатели», остаются актуальными и востребованными в технических вузах и научных институтах.

Семинар «Чтения академика В.Н. Болтинского» зарекомендовал себя как международное научное мероприятие, привлекающее участников из ведущих вузов, научно-исследовательских институтов, государственных органов и бизнеса, где обсуждаются ключевые вопросы развития агропромышленного комплекса, внедрения инновационных технологий и повышения конкурентоспособности российской техники. Он также служит важной площадкой для обмена опытом и укрепления научных связей. Участники представляют свои исследования и проекты, что способствует созданию новых деловых контактов и формированию научного сообщества.

Важно отметить, что семинар символизирует преемственность поколений и передачу знаний от выдающихся ученых к молодым специалистам, что является значимым для развития науки и техники в России.

Уверен, что подобные мероприятия играют ключевую роль в определении ориентиров развития агропромышленного комплекса и укреплении технологического суверенитета страны. Желаю всем участникам семинара здоровья и плодотворной работы, а также успехов в достижении поставленных целей, которые станут основой для дальнейших свершений в агропромышленном комплексе.

*Ректор РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева,
Академик Российской академии наук, д.с-х.н., д.э.н., профессор
Владимир Иванович Трухачев*

Уважаемый Геннадий Яковлевич!

Уважаемый Владимир Иванович! Уважаемые участники и гости!

Ежегодный семинар «Чтения Академика В. Н. Болтинского» объединяет учёных, исследователей и практиков, которые стремятся к достижению высоких результатов в своих областях. Он является площадкой для обмена идеями, обсуждения актуальных проблем и поиска путей их решения.

Сегодняшнее мероприятие особенно важно, поскольку оно касается будущего наших инженерных кадров. В современном мире, где научные открытия и технологические прорывы происходят ежедневно, подготовка квалифицированных инженеров становится приоритетной задачей. Инженерные специальности играют ключевую роль в развитии экономики, обеспечении национальной безопасности и улучшении качества жизни населения. Именно поэтому, повышение уровня подготовки будущих инженеров является задачей государственной важности.

Министерство просвещения Российской Федерации активно работает над созданием условий, способствующих качественному обучению студентов технических направлений. Мы понимаем, что успех в этой области возможен лишь при условии тесного взаимодействия между образовательными учреждениями и промышленностью. Необходимо постоянно обновлять учебные программы, внедряя новейшие достижения науки и техники, обеспечивая доступ к современным технологиям и оборудованию. Важно также развивать у студентов навыки критического мышления, командной работы и творческого подхода к решению сложных задач.

Уверен, что сегодняшние выступления и дискуссии станут важным шагом на пути к достижению поставленных целей. Желаю всем участникам продуктивной работы, интересных встреч и новых идей. Пусть результаты нашей совместной деятельности принесут пользу науке, технике и обществу в целом!

*Первый заместитель Министра просвещения Российской Федерации
Александр Вячеславович Бугаев*

Уважаемый Геннадий Яковлевич!
Уважаемый Владимир Иванович!
Уважаемые коллеги, дорогие друзья!

Сегодня мы собрались на научно-техническом семинаре «Чтения Академика В. Н. Болтинского», чтобы обсудить актуальные вопросы, касающиеся подготовки научных и инженерных кадров, которые играют ключевую роль в развитии наших стран – России и Казахстана. Как выпускник Московского института инженеров сельскохозяйственного производства имени В. П. Горячкина и ректор Кызылординского открытого университета Республики Казахстан, я хотел бы выразить благодарность организаторам за возможность собраться на этой площадке.

Современный мир стремительно меняется, и перед нами стоят новые вызовы, требующие совместных усилий и международного сотрудничества. Сегодня, как никогда ранее, важно объединять наши знания, опыт и ресурсы для создания и внедрения инновационных технологий, которые обеспечат устойчивое развитие и процветание наших стран.

Подготовка научных и инженерных кадров – это основа будущего успеха. В условиях глобализации и быстрого технологического прогресса, совместная работа России и Казахстана в этой области становится стратегически важной. Мы должны готовить специалистов, которые не только обладают глубокими знаниями в своей области, но и способны работать в международной команде, адаптироваться к быстро меняющимся условиям и находить нестандартные решения.

Наши университеты и научные центры играют ключевую роль в этом процессе. Они должны стать центрами притяжения для талантливых студентов и исследователей, а также платформами для обмена опытом и идеями. Совместные образовательные программы, научные исследования и проекты позволят нам не только укреплять научные связи, но и развивать новые направления в науке и технике.

Пусть наши совместные усилия помогут создать инновационные решения, которые откроют новые горизонты и ускорят прогресс, делая мир лучше и прогрессивнее.

*Ректор Кызылординского открытого университета Республики Казахстан,
Академик Национальной академии наук Республики Казахстан
Кылышбай Алдабергенович Бисенов*

Уважаемый Геннадий Яковлевич!
Уважаемый Владимир Иванович! Уважаемые коллеги!

Я рад приветствовать всех участников семинара – представителей научного сообщества, промышленных предприятий и вузов. Особенно приятно видеть среди нас молодых исследователей, которые продолжают традиции, заложенные нашими предшественниками.

Для меня большая честь, как выпускника Московского института инженеров сельскохозяйственного производства имени В. П. Горячкина (ныне Институт механики и энергетики имени В. П. Горячкина РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева), окончившего вуз в 1971 году, участвовать в сегодняшнем мероприятии. За прошедшие годы институт стал ведущим центром подготовки специалистов в области агроинженерии. Сегодня его выпускники работают в различных отраслях промышленности, вносят значительный вклад в развитие экономики России и стран СНГ.

Совместная международная деятельность играет ключевую роль в развитии инженерных и научных исследований. Россия и Беларусь имеют богатое наследие сотрудничества в этой сфере, и сегодня, как никогда ранее, важно укреплять эти связи.

Научно-технические инновации являются основой прогресса современного общества. Они определяют уровень развития экономики, обеспечивают продовольственную безопасность, повышают качество жизни людей. Мы должны объединять усилия для решения общих задач, разрабатывать новые технологии и внедрять их в производство.

Особо хочу подчеркнуть значимость междисциплинарного подхода в современных исследованиях. Интеграция знаний из различных областей науки позволяет создавать прорывные технологии. Именно такой подход лежит в основе успешного сотрудничества между научными коллективами двух стран.

Я уверен, что мероприятие станет важным шагом на пути к укреплению научного и технологического потенциала России и Беларуси. Желаю, чтобы эта конференция стала для всех источником новых знаний, навыков и возможностей для профессионального и личностного роста!

*Действительный член Национальной академии наук Беларуси,
заслуженный деятель науки Беларуси,
иностраннный член Российской академии наук
Зенон Валентинович Ловкис*

Чтения академика В. Н. Болтинского – 2025

В Российском государственном аграрном университете – МСХА имени К. А. Тимирязева 22-23 января 2025 года прошел ежегодный семинар «Чтения академика В. Н. Болтинского».

В рамках мероприятия обсуждались актуальные вопросы развития тракторостроения и подготовки специалистов в этой области.

В работе форума приняли участие президент Российской академии наук, академик РАН, профессор Геннадий Яковлевич Красников, ректор РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, академик РАН, профессор Владимир Иванович Трухачев и первый заместитель министра просвещения Российской Федерации Александр Вячеславович Бугаев.

В своём приветственном слове ректор Владимир Иванович Трухачев отметил высокий статус семинара и подчеркнул роль университета как одного из ведущих научно-методических центров в области сельскохозяйственного тракторостроения.

Ежегодно на семинаре собираются представители академического сообщества, вузов и научно-исследовательских институтов, аспиранты и магистры. Участники представляют более 200 докладов.

Президент Российской академии наук, Академик РАН Геннадий Яковлевич Красников рассказал о вкладе академии в укрепление технологического суверенитета государства и выразил надежду на то, что участники форума предложат конкретные меры по созданию конкурентоспособной сельскохозяйственной техники российского производства.

В своём выступлении первый заместитель министра просвещения Александр Вячеславович Бугаев отметил, что подготовка технических кадров является ключевой задачей для системы среднего профессионального образования России. Он рассказал, что на сегодняшний день в сфере тракторостроения молодые люди могут освоить 5 профессий и 1 специальность. В 2024 году приём на эти специальности составил более 18 000 человек, а всего по этим направлениям обучаются 50 000 студентов колледжей.

Александр Вячеславович также подчеркнул роль Тимирязевской академии как проводника в науку и высшую школу для выпускников СПО в сфере тракторостроения.

В пленарном заседании форума также приняли участие академик-секретарь Отделения сельскохозяйственных наук РАН, Академик РАН Яков Петрович Лобачевский, член Президиума РАН, Академик РАН Юрий Федорович Лачуга, первый заместитель генерального директора компании «Ростсельмаш» Алексей Николаевич Швейцов, ректор Санкт-Петербургского государственного аграрного университета Виталий Юрьевич Морозов и другие видные представители академического сообщества и производства.

В рамках семинара состоялась торжественная церемония открытия фирменной аудитории на кафедре тракторов и автомобилей, созданной в сотрудничестве с компанией «Ростсельмаш».

Ректор Владимир Иванович Трухачев выразил благодарность компании «Ростсельмаш» за создание технологичной и комфортной аудитории.

«На базе современного учебного пространства, оснащённого по последнему слову техники, мы будем готовить, переподготавливать и повышать квалификацию специалистов для сельскохозяйственного машиностроения. Наша цель – отечественная техника на российских полях!» – подчеркнул глава университета.

Алексей Николаевич Швейцов, первый заместитель генерального директора «Ростсельмаш», отметил, что сегодня компания выпускает 160 моделей современной техники. Для дальнейшего развития необходимо улучшать кадровый потенциал. Именно для этого и было открыто учебное пространство на базе Тимирязевки, а в 2023 году «Ростсельмаш» передал университету сельскохозяйственный трактор RSM 2375 для использования в практической подготовке будущих специалистов.

Алексей Николаевич призвал студентов активно развиваться в сотрудничестве с «Ростсельмаш». Это послание было подкреплено приглашением для студентов-агроинженеров, обучающихся в Институте механики и энергетики имени В. П. Горячкина, пройти производственную практику в компании.

ГИБРИДНЫЙ ТРАКТОР – ОСНОВА СОВРЕМЕННОГО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Г. Я. Красников¹, В. И. Трухачев², О. Н. Дидманидзе²,
Е. П. Парлюк³

¹АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», г. Зеленоград, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

³ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (НИУ)», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация: В контексте истории развития тракторостроения показаны недостатки принятой концепции наращивания мощности сельскохозяйственных тракторов. Приведена актуальная ситуация в машинотракторном парке РФ, отражающая недостаток тракторов малых тяговых классов. Показано, что потребность в тракторах покрывается в основном за счет импорта техники производства Республики Беларусь. Предложен альтернативный подход модернизации тракторного парка путем перевода имеющихся машин на гибридный привод. При этом показано, что только гибридный трактор способен эффективно работать в почвенно-климатических условиях РФ. На основании имеющегося опыта предложен постепенный переход от схемы с двумя электродвигателями, к более перспективной схеме с электромотор-редукторами на каждом колесе. Описаны этапы модернизации тракторов с участием производственных предприятий. Приведена важность эффективного отвода тепла от агрегатов гибридного трактора и необходимые охлаждающие контуры. Предложена блочно-модульная система охлаждения, адаптированная для работы в составе гибридного трактора. Для повышения экологических показателей трактора предложено использовать в конструкции ходовой системы тяговые гусеничные модули. Показана тенденция и перспективы их применения, и опыт создания современных конструкций.

Ключевые слова: сельскохозяйственный трактор, гибридный трактор, гибридная силовая установка, блочно-модульная система охлаждения, тяговые гусеничные модули.

HYBRID TRACTOR – THE BASIS OF MODERN AGRICULTURE

G. Y. Krasnikov^a, V. I. Trukhachev^b, O. N. Didmanidze^b, E. P. Parlyuk^c

^aResearch Institute of Molecular Electronics, Zelenograd, Russian Federation

^bRussian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

^cBauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract. *The article discusses the shortcomings of the commonly accepted approach to increasing the power of agricultural tractors in the context of tractor engineering development. It highlights the current state of the machine and tractor fleet in Russia, emphasizing the shortage of tractors in lower traction classes. It is noted that the demand for tractors is primarily met through imports of machinery produced in Belarus. An alternative approach to modernizing the tractor fleet is proposed, focusing on converting existing machines to hybrid drives. The analysis demonstrates that only hybrid tractors can operate efficiently under Russia's soil and climatic conditions. Based on existing experience, a gradual transition is proposed—from a two-electric-motor design to a more advanced configuration featuring electric motor-reducers on each wheel. The stages of tractor modernization involving industrial enterprises are outlined. The importance of effective thermal management for hybrid tractor components is emphasized, along with the necessary cooling circuits. A block-modular cooling system, specifically adapted for use in hybrid tractors, is proposed. To improve the ecological performance of tractors, the use of tracked propulsion modules in the undercarriage system is suggested. Finally, trends, prospects, and practical experience in the adoption of modern design solutions for such modules are outlined.*

Keywords: *agricultural tractor, hybrid tractor, hybrid powertrain, block-modular cooling system, traction track modules.*

С началом зарождения отрасли отечественного тракторостроения, ознаменованным в 30-е годы прошлого века завершением строительства заводов-гигантов: Сталинградского, Харьковского и Челябинского, была намечена нерациональная тенденция наращивания мощности и энергонасыщенности тракторов. На тот момент это было оправдано, однако в действительности было следствием того, что трактор, как энергетическое средство, создавался в отрыве от агротехнологий, что требовало последующей адаптации сельскохозяйственных машин и оборудования.

Трактор был и остается главной машиной в сельском хозяйстве, что изначально требует адаптировать его под почвенно-климатические условия и экологическую систему в целом [1]. В настоящий момент этого не достигнуто. Сейчас для обеспечения минимальных энергозатрат мы должны под конкретное значение мощности подбирать ширину захвата и скорость движения машинно-тракторных агрегатов. При этом есть только один оптимальный вариант этих параметров для обеспечения эффективной работы [2]. Однако из формулы по оценке энергозатрат мы знаем (1), что возможен обратный подход — когда мощность подбирается под необходимую скорость движения и ширину захвата.

$$E = \frac{N}{BV} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где ε_N – допустимый коэффициент загрузки двигателя; N_H – номинальная мощность двигателя; B – рабочая ширина захвата, м; V – скорость движения транспортно-технологической машины при рабочем ходе, м/с.

Еще в середине прошлого века стало ясно, что самые энергоемкие работы по вспашке можно выполнять только на скоростях 8...9 км/ч. Для этого в 1947-м году проводили исследования, где танк Т-34 агрегатировали с прицепным, а затем – с навесным плугом (рисунок 1, а). При этом испытания проводились в широком диапазоне рабочих скоростей. Было наглядно продемонстрировано и доказано, что на скоростях выше 9 км/ч происходит распыление почвы, а не оборот пласта, что не позволяет обеспечить качество выполнения технологических операций. Сегодня на полях страны по-прежнему преобладают мощные тракторы: Кировец, Ростсельмаш и зарубежные аналоги, продолжая развитие прошлой, утратившей свою актуальность, концепции (рисунок 1, б).

а)

б)

Рисунок 1 – Примеры реализации концепции наращивания мощности:

а – танк Т-34 с плугом; б – трактор Кировец с плугом

Теоретическое решение парковой задачи при таком подходе приводит к необходимости полного обновления парка тракторов всех тяговых классов, что невозможно в краткосрочной перспективе. Поэтому все разработки остаются лежать мертвым грузом на полках библиотек.

Мы предлагаем иной подход – модернизацию тракторного парка с переводом имеющихся тракторов на гибридный привод, а затем (или параллельно с этим) – создание новой конструкции гибридного трактора. И прежде всего тракторов малого тягового класса 0,6-2,0. Именно эти машины имеют оптимальный диапазон мощности, необходимый для реализации потребной силы тяги [1].

Статистика состояния машинотракторного парка в сельском хозяйстве РФ показывает существенный недостаток тракторов малых и средних тяговых классов 0,6-2,0 [3, 4]. Гусеничные машины в этом сегменте практически отсутствуют [5]. Это негативно влияет на показатель тракторооснащенности в расчете на единицу культивируемой площади, что в свою очередь замедляет развитие агропромышленного комплекса, особенно в сравнении с показателями развитых стран [3, 6]. При этом из 5200 тракторов, производимых в стране ежегодно, почти 90 % являются машинами тягового класса 4 и выше (мощность ДВС от 220 л.с.). 63 % из них приходится на тракторы мощностью свыше 380 л.с., которые выпускаются всего двумя заводами – ПТЗ и Ростсельмаш. После ухода с рынка зарубежных производителей, остальные сосредоточились на выпуске энергонасыщенных тракторов, ориентируясь в части сбыта на крупные сельскохозяйственные предприятия. При этом парк тракторов малого тягового класса неизбежно уменьшается и деградирует.

Статистические исследования показывают, что в тракторном парке РФ 54 % тракторов старше 10 лет, что является рубежом эффективности работоспособности. При этом ежегодно этот рубеж преступают от 3 до 5 % тракторов. Новых тракторов приобретается от 1,5 до 3 % от общего числа. По данным Ростехнадзора для эффективного сельскохозяйственного производства парк тракторов должен достигать минимум 500 тысяч машин. На 2024 год количество зарегистрированных тракторов составляет 387 тысяч штук, что соответствует 77 % от необходимого. В настоящее время на 1 трактор приходится 272,6 га пашни. Оптимальным значением нагрузки считается 250 га на 1 трактор, а в советское время – 100 га на 1 трактор.

В дополнение необходимо отметить, что 53 % тракторов всех тяговых классов произведены в Беларуси; 33 % – в России; 12 % – за рубежом и 2 % – в Китае. Для тракторов тяговых классов 0,6-2 (с мощностью двигателя от 30 до 130 л.с.) ситуация с позиции отечественного производства сложная. На каждый фактически произведенный в России трактор приходится 56,5 тракторов, импортируемых из Беларуси (свыше 15 000 шт.). Даже стараниями основных производителей тракторов данных классов – Череповецкого ЛМЗ, Завода Агромаш и Ковровского ЛМЗ не удастся существенно повысить темп выпуска тракторов по сравнению с импортом. Прогноз показывает, что в период с 2025 по 2030 г. будет приобретаться в среднем около 4 600 машин в год, а в общей сложности – более 28 000 шт., что указывает на явную

потребность в машинах такого класса. Очевидно, что спрос на ближайшие 5 лет будет обеспечен за счет тракторной продукции из Беларуси.

Таким образом, проблема недостаточной насыщенности парка становится особенно актуальной в контексте необходимости создания современной техники, соответствующей требованиям аграрного производства. Это подразумевает разработку перспективных моделей, отвечающих как функциональным, так и экологическим стандартам [1]. Обеспечение АПК подходящей техникой в достаточном количестве важно для выполнения производственных задач, укрепления продовольственной безопасности и устойчивого развития национальной экономики.

Сегодня в сельском хозяйстве все больше внимания уделяется переходу на электропривод. Эта тенденция связана с рядом факторов: сокращением ручного труда, автоматизацией процессов, истощением запасов углеводородного топлива и необходимостью снижения экологического ущерба [7-9]. В частности, минимизация воздействия техники на агроэкосистему становится ключевым требованием. Основные экологические проблемы, связанные с массовым использованием тракторов, включают чрезмерное уплотнение почвы движителями [10] и выброс вредных веществ в отработавших газах [1]. Эти факторы особенно заметны на территории сельхозугодий, где в основном функционируют тракторы высокой мощности.

Исходя из этого, одним из приоритетов при проектировании новых тракторов становится улучшение экологических характеристик, в том числе снижение вредных выбросов. Вредоносность двигателей внутреннего сгорания ограничивает их применение, особенно в закрытых помещениях. Это делает их эксплуатацию практически невозможной в животноводческих хозяйствах, теплицах и новых формах городского сельского хозяйства, где необходима низкая токсичность [11, 12]. Кроме того, постоянное ужесточение природоохранных стандартов указывает на неизбежность постепенного отказа от ДВС в пользу более экологичных решений.

Особенность сельхозпроизводства состоит в высокой зависимости техники от нефтепродуктов, цены на которые постоянно растут [1, 11, 13]. Это подчеркивает необходимость минимизации их расхода и оптимизации затрат на всех этапах жизненного цикла тракторов. Ужесточение экологических норм и желание снизить затраты требуют серьезного переосмысления конструкции тракторов и перехода к авто-

матизированным электроприводам [12]. Электропривод не только снижает экологический ущерб, но и формирует основу для создания автономных и роботизированных машин, которые становятся важным шагом к интеллектуальным комплексам нового поколения [14].

Для России с учетом ее почвенно-климатических условий чисто электрический трактор не может быть рациональным решением. Только гибридная модификация способна обеспечить эффективность выполнения сельскохозяйственных работ в соответствии с современными требованиями агротехнологий, а разработка новой техники и технологий, соответствующих потребностям агропромышленного комплекса, способствует укреплению продовольственной безопасности страны [15]. Достичь этого можно лишь путем объединения усилий научных, образовательных и производственных организаций.

На кафедре тракторов и автомобилей РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева разработана концепция гибридного трактора малого тягового класса. Несмотря на очевидную необходимость создания современного отечественного трактора для развития экономики страны и даже на гарантированный нарастающий спрос на тракторы класса 0,6-2,0, это пока ещё наше первое приближение к ответу на вопрос, который был поставлен ещё В. Н. Болтинским: «Какие нужны тракторы для России?»

Это не первая попытка кафедры повлиять на ситуацию в направлении повышения потребительских свойств, в первую очередь – экологических качеств тракторов. Ранее совместно с агроинженерным центром ВИМ и ведущими отраслевыми НИИ также проводились НИОКР по созданию электрических и гибридных тракторов на базе ВТЗ-2048А (рисунок 2, а), МТЗ-82 (рисунок 2, б) и Т-16 (ХТЗ) (рисунок 2, в).

Наиболее успешной реализацией задумки гибридного привода является опытный образец на базе трактора ВТЗ-2048А, и по сей день находящийся в эксплуатации с 2004 года (рисунок 2, а). Уже тогда результаты экспериментальных исследований однозначно показали, что гибридный привод превосходит чисто электрический.

Краеугольным камнем в создании отечественного гибридного трактора малого тягового класса является отсутствие собственной компонентной базы. 30...40 % комплектующих не имеют отечественных аналогов из-за высокой стоимости организации их производства.

а)

б)

в)

Рисунок 2 – Опыт РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева в создании гибридных и электротракторов:

а – трактор с комбинированным силовым агрегатом на базе ВТЗ-2048 А; б – полностью электрический трактор на базе МТЗ-82; в – тракторное самоходное шасси с электроприводом

В настоящее время в Тимирязевке разработана концепция современного универсально-пропашного трактора с гибридным приводом. В реализации данной концепции предлагается постепенный переход между двумя наиболее перспективными компоновками. От более консервативной компоновки – с двумя электромотор-редукторами для тягового и транспортного режимов работы соответственно (рисунок 3а) к более перспективной – с электромотор-редукторами на каждом колесе трактора и упрощенной механической трансмиссией (рисунок 3б). Данная концепция разрабатывается совместно с учеными-разработчиками и испытателями автотракторной и специальной техники, имеющими практический опыт создания и применения автоматизированного электромеханического привода и альтернативных источников энергии во главе с профессором Келлером Андреем Владимировичем.

В рамках данной концепции предлагается разделить модернизацию трактора на два этапа (таблица 1).

На первом этапе модернизации предлагается задействовать имеющиеся несущие конструкции и агрегаты трансмиссии серийных тракторов, уже эксплуатируемых в парке с реализацией максимального КПД в рабочем и транспортном диапазоне.

На втором этапе требуется полное обновление конструкции трактора. При этом можно ограничиться двигателями меньшей мощности и габаритов и реализовать активное управление каждым колесом, что будет способствовать наилучшему распределению энергии.

а)

б)

Рисунок 3 – Предлагаемые компоновки трактор с гибридным приводом:

а – вариант с двумя с двумя электромотор-редукторами (начальный этап);

б – с электромотор-редукторами на каждом колесе (завершающий этап)

Концепция позволяет использовать в качестве базового трактора «Беларус-82.1», производства ОАО МТЗ. Это оправданное решение, учитывая не просто наличие данной машины в отечественном парке техники, но даже избыточность ее на 7 тыс. машин [16].

Важнейшим преимуществом является возможность применения двигателей меньшей мощности на гибридных тракторах по сравнению с серийными тракторами аналогичных тяговых классов. Естественно, после доработки опытных образцов по результатам их испытаний.

Таблица 1 – Этапы модернизации трактора и характеристики компонентов

Рама	Двигатель внутреннего сгорания	Генератор	Буферный источник энергии	Мосты и системы управления	Тяговые электродвигатели	Электроника	Кабина и верхнее строение
Этап 1							
Экспериментальный образец – исходные варианты из готовых комплектов	- мощностью 35...49 л.с. - мощностью 62 л.с. - мощностью 81 л.с. - мощностью 130 л.с.	- мощностью 36 л.с. (50 кВт); - мощностью 74 л.с. (100 кВт); - мощностью 110 л.с. (150 кВт)	Свинцово-кислотные аккумуляторы большой емкости или литий-ионные аккумуляторы	Готовые передний и задний мост из шинно-комплектов; готовая система управления	2 электродвигателя мощностью от 25 до 60 кВт каждый	Раздельные контроллеры верхнего и нижнего уровня, независимые блоки силовой электроники	Современная кабина с панорамным обзором; стеклопластиковые элементы обвеса
Этап 2							
Опытные образцы – сварная рамная конструкция	- мощностью 30 л.с. (22 кВт) - мощностью 55 л.с. (40 кВт) - мощностью 45...78 л.с. (33...58 кВт) - мощностью 55...128 л.с. (41...94 кВт)	- мощностью 22 кВт - мощностью 40 кВт - мощностью 33...58 кВт - мощностью 41...94 кВт	Литий-железо-фосфатные аккумуляторы полной емкости или суперконденсаторы	Передний и задний мост из готовых полностью	4 электродвигателя мощностью от 5,5 до 23 кВт	Объединенные электронные управляющие системы, соединение по CAN-шине	

Мы предлагаем объединить усилия научно-исследовательских институтов и заводов, как это сделал Василий Николаевич Болтинский в 40-е – 50-е годы, для восполнения компонентной базы трактора. Прежде всего ДВС и электрогенераторов с выпрямителями электрического тока; буферных аккумуляторных батарей; блоков управления (контроллеров), электродвигателей, регуляторов оборотов двигателей

или частотных преобразователей. Сочетание именно этих комплектующих формирует полноценную моторно-трансмиссионную установку гибридного трактора.

Как было показано, по своей структуре гибридные моторно-трансмиссионные установки существенно отличаются от традиционных компоновочных схем. Помимо этого, требуется определенное согласование электронных, электротехнических и механических компонентов для обеспечения их устойчивого взаимодействия.

Это отличие переходит и к требованиям мощности потребителей и соответственно источников энергии для трактора. Одним из ярких примеров современного трактора является «Беларус-3023» с электрической трансмиссией, который в настоящее время проходит испытания в хозяйстве (СХЦ «Гайна»). Результаты испытаний позволят объективно судить о его эффективности.

Электромеханическая трансмиссия имеет целый ряд преимуществ. Важнейшими из них являются:

- уменьшение буксования колес и расхода топлива на единицу выполненной работы (до 30 %);
- обеспечение бесступенчатого регулирования скорости машинно-тракторного агрегата;
- эффективное управление режимами работы дизеля в зависимости от потребляемой мощности;
- автоматический подбор скорости движения с учетом ширины захвата орудия и потенциальной производительности машинно-тракторного агрегата с позиции минимизации энергозатрат.

Тем не менее требуется пересмотр отдельных компоновочных решений, которые уже реализованы в тракторе «Беларус-82.1». Потребуется доработка его конструкции под гибридную модификацию.

В конструкцию современного гибридного трактора должны входить следующие комплектующие [17-19]: альтернатор мощностью 60 кВт, тяговые электродвигатели синхронные с постоянными магнитами, расположенными на роторе (по технологии PMSM), аккумуляторная батарея с рабочим напряжением 360 В, а также преобразующая и управляющая силовая электроника. Такой подход обеспечивает высокую эффективность, надежность, стабильность выходных характеристик, а значит соответствие современным технологическим требованиям. Предложенные компоненты способны работать в условиях повышенной запыленности, характерной для технологических операций в сельскохозяйственном производстве.

Важным аспектом создания гибридного трактора является необходимость эффективного отвода и утилизации тепла из-за возросшего числа электрических источников, которые интенсивно нагреваются при работе под изменяющейся нагрузкой. Это требует принципиально иных подходов к проектированию системы охлаждения по сравнению с традиционными тракторами.

В традиционном тракторе система охлаждения обслуживает главным образом дизельный двигатель. Задача состоит в отводе тепла от двигателя и поддержании оптимальной температуры рабочей жидкости, что обеспечивает его надежность и производительность. В гибридном тракторе, помимо охлаждения дизельного двигателя, в систему вводятся дополнительные контуры для охлаждения электрических машин (генератора и тягового электродвигателя); силовой электроники (преобразователи, инверторы), которые крайне чувствительны к увеличению и перепадам температуры, что может привести к потере функций и выходу из строя. Литий-ионные аккумуляторные батареи, элементы которой могут деградировать при превышении температуры, также требуют поддержания определенного температурного режима [20].

В этом случае значительно увеличивается число активных источников тепла, но при этом остаются уже имеющиеся, в результате чего необходим существенный пересмотр состава системы охлаждения трактора.

Гибридная компоновка приводит к созданию нескольких независимых контуров охлаждения (рисунок 4): первичный контур для дизельного двигателя остается неизменным (рисунок 4, а), как и контур для охлаждения рабочей жидкости гидросистемы; отдельным идет контур для электрических машин с жидкостным охлаждением и собственным радиатором (рисунок 4, б), так как в этом случае целесообразно использовать жидкости с высокой электрической изоляцией; желательно выделить отдельный контур жидкостного охлаждения для силовой электроники (рисунок 4, в); контур жидкостного охлаждения батареи для поддержания допустимой температуры элементов питания (рисунок 4, г).

Для реализации такого подхода требуется применение современных научных достижений в области систем охлаждения автотракторной техники.

а)

б)

в)

г)

Рисунок 4 – Охлаждающие контуры гибридного трактора:

а – контур охлаждения ДВС; б – контур электрических машин; в – контур аккумуляторной батареи; г – контур силовой электроники; 1 – радиатор системы смазки; 2 – радиатор системы охлаждения ДВС; 3 – охладитель наддувочного воздуха; 4 – блок электромагнитных клапанов; 5 – расширительный бачок; 6 – ДВС; 7 – перепускной клапан; 8 – термостат; 9 – масляный насос

Одним из них является разработанная на кафедре блочно-модульная система охлаждения [21], которая позволяет оптимизировать отвод тепла от многочисленных источников с учетом температурного поля каждого из них, а также механических передач, нагрев которых является следствием интенсивной работы привода (рисунок 5).

Предложенная блочно-модульная система адаптирована для работы в составе гибридного трактора, базируется на принципе организации эффективных процессов охлаждения рабочих агрегатов и теплоносителей за счет учета их взаимовлияния.

Рисунок 5 – Блочно-модульная система охлаждения гибридного трактора:
 W_L – воздушный поток; W_T – теплый поток воздуха; W_O – охлажденный поток воздуха; 1 – масляный радиатор; 2 – конденсатор; 3 – радиатор системы охлаждения; 4 – охладитель надувочного воздуха турбокомпрессора; 5 – насос масляный; 6 – ДВС; 7 – испаритель системы кондиционирования; 8 – радиатор системы отопления; 9 – генератор гибридного привода; 10 – тяговый электродвигатель; 11 – гидростатический вал отбора мощности; 12, 13 – главная передача задней и передней оси; 14 – гидроусилитель рулевого управления; 15 – радиатор контура электрических машин; 16, 17 – радиаторы контура силовой электроники и батареи; 18 – преобразователь; 19 – контроллер; 20 – аккумуляторная батарея

Разработанный ранее, исследованный и апробированный алгоритм расчета количества теплоты, которое должно быть рассеяно радиаторами жидкостной системы охлаждения (системы охлаждения и смазки) при различных нагрузочных и скоростных режимах работы двигателя, а также разных состояниях окружающей среды, может быть модифицирован с учетом потребности системы охлаждения гибридного трактора. При этом учитываются конструктивные комбинации различных радиаторов и охлаждающих жидкостей, режимы работы каждой системы, теплофизические свойства теплоносителей, конструктивные особенности теплообменников и свойства используемых в них материалов.

В качестве основного источника отвода тепла предлагается использовать разработанный на кафедре, изготовленный и испытанный

перспективный радиатор системы охлаждения с полиуретановой сердцевиной № 28/3-19 (таблица 2, рисунок 6, а) [22], расчет отвода теплоты которого будет осуществляться с учетом окружающих теплоотводящих источников тепла других систем трактора.

Таблица 2 – Основные сведения и характеристики радиатора с полимерной сердцевиной

Сведения о радиаторе		Материалы		Результаты испытаний			
Наименование	Масса, кг	Пластина	Трубка	Объемный расход воды, м ³ /ч	Гидравлическое сопротивление, Па	Массовый расход воздуха, кг/ч	Приведенная теплоотдача, Вт/К
Полиуретановый опытный радиатор № 28/3-19	8,45	Полиуретан	Полиуретан	5,5	38982	5000	458

Применительно к конструкции базового трактора МТЗ-82 осуществлен тепловой расчет в исходном варианте (рисунок 6, б) и в сравнении с его полимерной модификацией (рисунок 6, в), что показало эффективность и перспективность полимерной модификации для конструкции гибридного трактора.

В настоящее время в конструкциях тракторов малых и средних тяговых классов намечена тенденция к снижению конструкционной массы при сохранении тягового усилия [23]. Эта тенденция коррелирует с общей потребностью улучшения экологических показателей, особенно в направлении физического взаимодействия с почвой со стороны ходовой системы. Поэтому логичным развитием конструкции трактора с гибридной моторно-трансмиссионной установкой – применение тяговых гусеничных модулей вместо традиционного колесного движителя [16]. Такой подход по отношению к тракторам малых тяговых классов уже показал свою эффективность [16], что не раз было отмечено ведущими организациями отрасли и авторитетными специалистами.

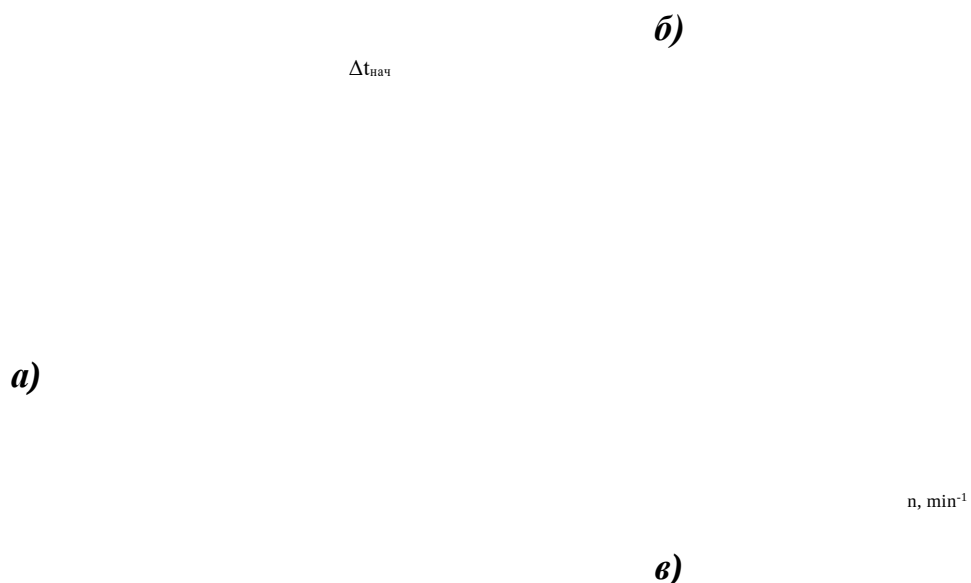


Рисунок 6 – Результаты теплового расчета системы охлаждения трактора:
 а – перспективный радиатор системы охлаждения с полиуретановой сердцевинной № 28/3-19; б – температурно-динамическая характеристика полимерного и алюминиевого радиатора системы охлаждения трактора МТЗ-82 в зависимости от эффективной мощности двигателя; в – температурно-динамическая характеристика системы охлаждения трактора МТЗ-82 с полимерным и серийным радиаторами

В Тимирязевке накоплен опыт создания тяговых гусеничных модулей, в том числе с изменяемой геометрией, основная отличительная особенность которых – возможность изменения площади контакта с опорной поверхностью для работы в различных почвенно-климатических условиях, включая межсезонье и почвы с низкими несущими способностями, за счет механизма регулирования площади опорной поверхности [16]. Применение таких ТГМ обеспечивает повышение эксплуатационных свойств трактора: тягово-сцепных свойств и навесо-

способности, что позволяет перевести его в класс тяги 2,0 по сцеплению; снижение давления на почву до 60 кПа при установке ТГМ только на заднюю ось и до 40 кПа – на обе оси трактора. Это соответствует современным нормативам воздействия движителей на почву даже при ее наибольшей влажности в весенний период в слое 0...30 см, когда наименьшая влагоемкость превышает 0,9 НВ.

Выводы:

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Развитию сельскохозяйственного сектора России требуется современный трактор малого тягового класса (0,6-2,0). Концепция гибридного трактора, предложенная Тимирязевкой, направлена на улучшение производительности, экологичности и энергоэффективности, что соответствует современным требованиям сельского хозяйства.

2. Отсутствие отечественной компонентной базы является одной из ключевых проблем производства тракторов в принципе, как гибридных, так и традиционной конструкции.

3. Гибридная моторно-трансмиссионная установка превосходит полностью электрическую по показателям эффективности, а по отношению к традиционной конструкции способствует снижению углеродного следа и минимизации пагубного воздействия на сельскохозяйственную экосистему.

4. На основе анализа текущей ситуации в парке сельскохозяйственных тракторов предлагается поэтапное создание трактора с гибридным приводом – от модернизации традиционной конструкции с частичным сохранением узлов трансмиссии и размещением компонентов гибридного привода на имеющейся несущей системе до создания полностью обособленной конструкции с индивидуальным приводом колес.

5. Ключевые технические решения состоят во внедрении двух- и многокомпонентных систем привода: от более консервативных систем (с двумя электромотор-редукторами) до более сложных решений с моторами на каждом колесе.

6. В качестве базовой модели предложен трактор Беларусь-82.1 из-за его массового распространения на рынке и в хозяйствах (до 7 тыс. шт.), а также потенциала для модернизации.

7. Для создания перспективного трактора и его компонентной базы для него требуется объединение усилий научно-исследовательских институтов, промышленных предприятий и государственной поддержки, что создает почву для успешной кооперации с целью уменьшения сроков создания первых образцов гибридных тракторов.

Одной из ключевых проблем при создании гибридного трактора любой компоновки является повышенная тепловая нагрузка механических, электрических и электромеханических компонентов моторно-трансмиссионной установки. Гибридные энергоустановки увеличивают количество источников тепловой напряженности, что требует переработки системы охлаждения машины. Для выбранного базового трактора предложен вариант блочно-модульной системы охлаждения на основе полимерного радиатора.

Применение тяговых гусеничных модулей позволит значительно повысить экологические показатели гибридного трактора не только в отношении эффективности работы моторно-трансмиссионной установки и повышения производительности, но и в части снижения уплотняющего воздействия, то есть способствовать повышению урожайности и сохранению плодородия почвы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дидманидзе, О. Н. Трактор сельскохозяйственный: вчера, сегодня, завтра / О. Н. Дидманидзе, С. Н. Девянин, Е. П. Парлюк // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2020. – Т. 21. – № 1. – С. 74-85. – DOI 10.30766/2072-9081.2020.21.1.74-85.
2. Дидманидзе, О. Н. Эффективность тягово-транспортных средств при использовании накопителей энергии / О. Н. Дидманидзе, С. А. Иванов, Н. Н. Пуляев. – М. : Мегапринт, 2018. – 189 с. – ISBN 978-5-907095-06-9.
3. Состояние и перспективы развития парка сельскохозяйственных тракторов в условиях цифровой трансформации сельского хозяйства / И. А. Старостин, А. В. Лавров, А. В. Ещин, С. А. Давыдова // Тракторы и сельхозмашины. – 2023. – Т. 90, № 4. – С. 387-394.
4. Анализ технического уровня современных сельскохозяйственных тракторов тягового класса 2 / С. А. Давыдова, И. А. Старостин, А. В. Ещин, В. Я. Гольяпин // Техника и оборудование для села. – 2021. – № 3(285). – С. 2-9.
5. К вопросу создания отечественного гусеничного трактора для современного сельскохозяйственного производства / В. М. Шарипов, А. Ю. Измайлов, А. С. Дорохов [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2018. – № 2. – С. 17-25.
6. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России до 2030 года (прогноз) / З. А. Годжаев, В. Г. Шевцов, А. В. Лавров [и др.] // Технический сервис машин. – 2019. – № 4(137). – С. 220-229.
7. Дидманидзе, О. Н. Основные направления развития тяговой техники в агропромышленном комплексе / О. Н. Дидманидзе // Доклады Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2015. – Вып. 1. – № 287-2. – С. 180-182.
8. Parameters of the electric drive of a cargo electric vehicle for breeding and seed production / A. S. Dorokhov, R. S. Fedotkin, V. A. Kryuchkov, K. Dmitriev //

International Conference on Remote Sensing of the Earth: Geoinformatics, Cartography, Ecology, and Agriculture (RSE 2022) : CONFERENCE PROCEEDINGS, Dushanbe, 19-21 апреля 2022 года. Vol. 12296. – Dushanbe: SPIE, 2022. – P. 122960.

9. Модернизация конструкции мобильного роботизированного опрыскивателя / А. С. Дорохов, Р. С. Федоткин, В. А. Крючков, А. С. Овчаренко // Инновации в сельском хозяйстве. – 2019. – № 3(32). – С. 177-185.

10. Кузьмин, В. А. Искусственная нейронная сеть для обоснования параметров ходовых систем тракторов / В. А. Кузьмин, Р. С. Федоткин, В. А. Крючков // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2017. – № 4. – С. 24-30. – DOI 10.22314/207375992017.4.2430.

11. Дидманидзе, О. Н. Применение мобильного энергетического оборудования в сельском хозяйстве / О. Н. Дидманидзе // Чтения академика В. Н. Болтинского : сборник статей, Москва, 25-26 января 2022 г. – М. : Общество с ограниченной ответственностью «Сам Полиграфист», 2022. – С. 89-95.

12. Дидманидзе, О. Н. Перспектива создания электрического трактора / О. Н. Дидманидзе, А. С. Гузалов // Доклады ТСХА, Москва, 06-08 декабря 2018 года. Том выпуск 291, часть 2. – М. : Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2019. – С. 3-6.

13. Современная агроинженерия / В. И. Трухачев, О. Н. Дидманидзе, М. Н. Ерохин [и др.]. – М. : ООО «Мегаполис», 2022. – 413 с.

14. Problems and Prospects of Agricultural Tractors with Hybrid and Electric Drivetrain Creating / O. N. Didmanidze, E. P. Parlyuk, R. S. Fedotkin [et al.] // Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED), Moscow, 10-11 ноября 2022 года. – Moscow: IEEE, 2022. – P. 22336029.

15. Предпосылки создания сельскохозяйственного трактора с гибридным и электрическим приводом / О. Н. Дидманидзе, Р. С. Федоткин, В. А. Крючков [и др.] // Транспортное дело России. – 2024. – № 1. – С. 307-311.

16. Съёмная гусеничная ходовая система ведущего моста сельскохозяйственного трактора класса 0,9 / О. Н. Дидманидзе, Р. С. Федоткин, В. А. Крючков [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 12. – С. 142-148.

17. Обзор состояния и перспектив тягового электропривода автономного транспорта / М. А. Слепцов, В. И. Нагайцев, В. Г. Комаров, А. В. Банакин // Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. – 2016. – № 4. – С. 21-28.

18. Перспективы развития тракторостроения в России / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев, М. М. Прокофьев // Техника и оборудование для села. – 2023. – № 5(311). – С. 2-7. – DOI 10.33267/2072-9642-2023-5-2-7.

19. Дидманидзе, О. Н. Комбинированные энергоустановки в тягово-транспортных средствах / О. Н. Дидманидзе. – М.: ООО «УМЦ «Триада», 2016. – 110 с.

20. Experimental activities on a PEFC based powertrain for a hybrid electric minibus / An-daloro, L., Napoli, G.; Micari, S., et al. // International journal of hydrogen energy. – 2020. – Volume 45, Issue 58. – P. 34011-34023.

21. Парлюк, Е. П. Определение эффективности блочной системы охлаждения автотракторной техники в условиях АПК / Е. П. Парлюк. – М. : Общество с

ограниченной ответственностью «Сам Полиграфист», 2021. – 147 с. – ISBN 978-5-00166-396-6.

22. Результаты испытаний полимерного радиатора системы охлаждения трактора МТЗ-80 / О. Н. Дидманидзе, Р. Т. Хакимов, Е. П. Парлюк, Н. А. Большаков // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2020. – Т. 14, № 1. – С. 55-60. – DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-1-55-60.

23. Анализ технического уровня современных специализированных тракторов для отрасли садоводства / И. А. Старостин, Р. С. Федоткин, Д. О. Хорт [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2022. – Т. 15, № 4(75). – С. 68-83. – DOI 10.53914/issn2071-2243_2022_4_68.

Об авторах:

Красников Геннадий Яковлевич, Президент Российской академии наук, Академик Российской академии наук, доктор технических наук, профессор, научный руководитель АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», niime@niime.ru.

Трухачев Владимир Иванович, Академик Российской академии наук, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ректор ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», rector@rgau-msha.ru.

Дидманидзе Отари Назирович, Академик Российской академии наук, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», didmanidze@rgau-msha.ru.

Парлюк Екатерина Петровна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры, ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», kparlyuk@yandex.ru.

About the authors:

Gennady Y. Krasnikov, President of the Russian Academy of Sciences, Academician of Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Engineering), professor, Scientific Director of JSC «Research Institute of Molecular Electronics», niime@niime.ru.

Vladimir I. Trukhachev, Academician of Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Agricultural), professor, Rector, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, rector@rgau-msha.ru.

Otari N. Didmanidze, Academician of Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Engineering), professor, Head of the department, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, didmanidze@rgau-msha.ru.

Ekaterina P. Parlyuk, D.Sc. (Engineering), professor of the Department, Bauman Moscow State Technical University, kparlyuk@yandex.ru.

ПРОЦЕССНЫЙ ПОДХОД ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

К. А. Бабкин¹, О. Н. Дидманидзе², П. В. Сиротин³, Е. П. Парлюк⁴

¹Ассоциация «Росспецмаш», г. Москва, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

³Институт перспективного машиностроения «Ростсельмаш», г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

⁴ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (НИУ)», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Работа посвящена разработке принципов подготовки кадров и реализации образовательных программ в интересах действующих предприятий специального машиностроения. Представлен анализ особенностей формирования технического облика и номенклатуры машин и оборудования, а также технологий их производства. Сформулированы недостатки традиционных подходов к разработке образовательных программ. Предложен новый комплексный метод, позволяющий определить перспективные профессиональные компетенции выпускников вузов. В отличие от известных метод учитывает фактические процессы проектирования и производства изделий, а также технических облик изделий новых поколений, перспективные методы проектирования и производства. Предложена концептуальная структура научно-образовательных организаций на основе действующей сети предприятий специального машиностроения.

Ключевые слова: подготовка кадров, методология, проектирование, технологии производства, профессиональные компетенции, специальное машиностроение.

PROCESS-BASED APPROACH TO STAFF TRAINING FOR SPECIAL ENGINEERING ENTERPRISES

K. A. Babkin^a, O. N. Didmanidze^b, P. V. Sirotin^c, E. P. Parlyuk^d

^aRussian Association of Specialized Machinery and Equipment Manufacturers, Moscow, Russian Federation

^bRussian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

^cInstitute of Advanced Engineering «Rostselmash», Rostov-on-Don, Russian Federation

^dBauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract. *The work is devoted to the development of principles for training personnel and implementing educational programs in the interests of existing enterprises of special mechanical engineering. An analysis of the features of the formation of the technical appearance and nomenclature of machines and equipment, as well as technologies for their production is presented. The shortcomings of traditional approaches to the development of educational programs are formulated. A new comprehensive method is proposed that allows determining the promising professional competencies of university graduates. Unlike the known methods, the method takes into account the actual processes of designing and manufacturing products, as well as the technical appearance of new generation products, promising methods of designing and manufacturing. A conceptual structure of scientific and educational organizations based on the existing network of enterprises of special mechanical engineering is proposed.*

Keywords: *personnel training, methodology, design, production technologies, professional competencies, special mechanical engineering.*

ВЕДЕНИЕ

В новейшей истории страны доступ к мировым технологиям, внедрение более эффективных систем организации производства, меры государственной поддержки обеспечивали возможность перехода предприятий на более высокие уровни конструкторско-технологических переделов и производства конкурентоспособной продукции, в том числе на мировом рынке [1]. При этом в высшей школе попытки внедрения новых систем, принципов и методик подготовки инженерных кадров не привели к ожидаемому повышению качества подготовки специалистов. Произошедшие трансформации сфер производства и образования привели к их рассинхронизации, что является одним из значимых барьеров обеспечения технологического суверенитета страны [2]. Сложившаяся ситуация определяется не только дефицитом инженерных кадров, но и несоответствием уровня и набора профессиональных компетенций выпускников системы современным и, тем более, перспективным требованиям реального сектора экономики. В связи с чем формирование концепции подготовки инженеров для современных и перспективных условий российского машиностроения является актуальной проблемой, решение которой обеспечит не только возможность создания конкурентоспособной продукции, но и преодоление глобальных вызовов, стоящих перед нашей страной.

Выстроенные инжиниринговые процессы на ведущих предприятиях страны опережают темпы развития системы подготовки кадров и могут быть использованы как структурообразующая основа построения новой системы образования. Цель работы – обоснование новых принципов подготовки и формирования компетентностных моделей

специалистов для предприятий специального машиностроения на основе фактических производственных процессов передовых предприятий, а также реализации образовательных программ на базе научно-образовательных организаций, объединенных по средствам уже действующей системы производителей специализированной техники и оборудования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

История развития российского сельхозмашиностроения тесно связана с системой образования и во много предопределяла принципы подготовки инженеров для условий российского агропромышленного комплекса (АПК) [3, 4]. С целью установления закономерностей развития анализируемых сфер они рассмотрены как взаимосвязанные подсистемы двуединого процесса.

Период земледельческого этапа развития страны отмечается историческими фактами применения простейших устройств типа сохи и бороны по принципам ремесленного производства [5]. Началом земледельчески-мануфактурного периода развития России следует считать 1802 год, когда англичанин Христофор Вильсон основал в городе Москве завод по производству земледельческих орудий. Дальнейшее развитие отрасли отмечено фактами открытия производств: в 1815 году в г. Ельце братьев Криворотовых; в 1832 году в г. Москве братьев Бутенов по производству веялок и молотилок; в 1835 году в Екатеринославе (Днепропетровске) завода Заславского; в 1840 году в г. Смеле Киевской губернии графа А. А. Бобринского; в 1845 году в Пензенской губернии завода Давыдова и Тамбовской губернии завода Миловановых; в 1849 году в Киевской губернии завода В. Менцеля; в 1850 году в Харьковской губернии – завода Леппа; в 1853 году в Херсоне – завода братьев Ваддон; в 1854 году в Одессе завода И. И. Гена по производству плугов; в 1855 году в Таврической губернии заводы Вестберга и Ульмана и др. [5, 6]. Отмена крепостного права потребовала пересмотра форм хозяйствования субъектов сельскохозяйственного производства России, применения новых технологий, машин и оборудования. Для удовлетворения возрастающего спроса на машины и оборудование в 1863 г. в Запорожье был построен крупнейший завод сельскохозяйственных орудий «Коммунар». В 1881 г. в Харькове построен завод Гельферик и Саде, который впоследствии получил название «Серп и молот» [7].

Одним из первых проявлений государственного внимания к отрасли сельхозмашиностроения следует отнести к 1869 г. В это время

с целью систематизации разработок в г. Санкт-Петербурге был создан Императорский сельскохозяйственный музей, куда из многих стран поступала передовая техника для испытаний в условиях России. В 1894 г. было создано Бюро по сельскохозяйственной механике при Учёном комитете Главного управления землеустройства и земледелия [3, 8]. Большое прогрессивное значение в этой области имели выставки-испытания сельскохозяйственных машин и орудий, которые проводили под Москвой на Бутырском хуторе начиная с 1892 года [3]. Это позволяло вносить изменения в конструкции экспортируемых машин, учитывать особенные требования условий России, систематизировать и анализировать конструктивные решения.

В целом в конце XIX – начале XX в. в России произошёл заметный скачок в развитии сферы производства сельскохозяйственной техники. В конце XIX в. с целью систематизации опыта проектирования и производства сельскохозяйственных машин Горячкин В. П. посетил действующие российские заводы, а затем заводы в Германии и Франции. Обобщая результаты посещения учебных заведений, заводов, научно-исследовательских институтов, машиноиспытательных станций, Горячкин В. П. пришёл к выводу, что науки о сельскохозяйственных машинах и орудиях ни в России, ни за рубежом, по сути, не существует [3]. Создание сельскохозяйственных машин и орудий, по его выражению, находится «в том периоде бессознательного творчества, через который прошла вся техника» [3]. В 1910 году при Московском сельскохозяйственном институте были организованы курсы подготовки специалистов по сельскохозяйственным машинам. С 1911 года началась научно-исследовательская работа на кафедрах вузов и агрономических школ в области создания новой сельскохозяйственной техники. В основе системы подготовки агроинженерных кадров были положены принципы и результаты исследований научной школы Горячкина В. П. [4].

В ноябре 1911 года на базе механического факультета Донского политехнического института (г. Новочеркасск) появилась первая в России кафедра «Сельскохозяйственные машины», обеспечивающая обучение и выпуск специалистов по специальности «Конструирование и производство сельскохозяйственных машин». Необходимость создания новых типов оборудования, зарождение тракторостроения в г. Санкт-Петербурге, организация производства зерноуборочных комбайнов в г. Ростов-на-Дону потребовали развития и системы

подготовки кадров. Производства нуждались в технологах и конструкторах, а кадров, которых готовили вузы было недостаточно, что стало основанием для открытия новых образовательных заведений. На базе созданных вузов были сформированы абсолютно новые и получили развитие известные научные направления агроинженерии. До 1910 г. были заложены фундаментальные основы построения образовательных программ подготовки инженеров-конструкторов и технологов производства сельскохозяйственных машин.

Формирование научно-исследовательских направлений, теории сельхозмашин и школы подготовки инженеров обеспечило возможность развития и создания самоходных сельскохозяйственных машин как изделий следующего поколения развития. Систематизированные исследования Горячкина В. П., отраженные в монографии 1919 года «Земледельческая механика», стали основой для формирования технического облика тяговых машин [4]. Первыми тракторами с научно-обоснованным обликом для российских условий следует считать тракторы «Гном» в 1919 году, «Коломенец-1» в 1922 году, «Коломенец-1» в 1922 году и «Карлик-1» в 1924 году. Эти машины обеспечивали технологическую и энергетическую функцию. Тем не менее создание машин было основано на принципах реинжиниринга, а также внедрения отдельных разработок выпускников агроинженерных школ, действующих на базе созданной сети политехнических институтов. Начиная с 1928 года на фоне реформ высшего образования по разукрупнению политехнических институтов и обеспечению массового доступа к высшему образованию разработаны тракторы: «Фордзон-Путиловец» в 1924 году, СТЗ-15/30 в 1930 году, ХТЗ в 1931 году, «Универсал» в 1934 году [1].

На основе трудов Горячкина В. П. его ученик Ган В. Ю. впервые определил и ввел специальность по конструированию и производству сельскохозяйственных машин [3]. При непосредственном участии сотрудников и студентов разработаны первые российские зерноуборочные прицепные установки. На основе результатов проведенных исследований, развития теории комбайностроения было создано три поколения зерноуборочных комбайнов: первое, представленное прицепными установками типа «Колхоз» и «Сталинец», производимыми с 1930 года; второе – самоходными комбайнами (СК) типа СК 3 и СК 5, производимыми с 1958 года; третье – машинами типа ДОН 1500 и др., производимыми с 1986 года.

Таким образом в процессе становления систем производства и подготовки кадров можно выделить три этапа: с начал XIX века – формирование навыков по разработке и производству сельхозмашин; период 1869-1930 гг. – систематизация навыков, умений и знаний, формирование теории сельскохозяйственных машин и оборудования; период с 1930 до 1990 гг. – развитие отрасли за счет разработки новых научно-обоснованных технических решений и внедрения результатов научно-образовательной деятельности в производство.

По мере протекания третьего периода прослеживается принцип, заложенный Горячкиным В. П. и изложенный в статье «Пути развития земледельческой механики» (1929 г.), в которой проводилась мысль о **недопущении расхождения интересов промышленности и сельского хозяйства** [4]. Синхронизация запросов, уровня знаний и технологий обеспечивало создание конкурентоспособной техники. На международной промышленной выставке в Париже в 1937 году Комбайн «Сталинец 1» получил высшую награду – диплом «*Grand Prix*». Впоследствии эта идея была развита Болтинским В. Н. и предполагала, что формирование технической политики в области тракторостроения, а также сельскохозяйственного машиностроения должно осуществляться **Министерством сельского хозяйства – потребителем этой техники, а не Министерствами, курирующими тракторное и сельскохозяйственное машиностроение**. К сожалению, сегодня в функции Министерства сельского хозяйства не входит даже согласование технических заданий на сельскохозяйственные машины и оборудование.

В 90-х годах прошлого века в стране произошли существенные трансформации всех сфер. Была близка ситуация, при которой Россия могла остаться без одной из ключевых отраслей промышленности, обеспечивающей продовольственную безопасность страны [9]. Благодаря мерам государственной поддержки, которые разработало и запустило правительство России, внедрению эффективных систем управления предприятиями и других принятых мер, уже с 2013 года российские заводы обеспечивали ежегодный рост производства и экспортных отгрузок. Производство российской сельхозтехники в 2022 году по сравнению с 2019 годом увеличилось на 29,6 % [10]. В конце 2021 года доля российской техники на внутреннем рынке составляла 58 % [10]. По зерноуборочным комбайнам доля продаваемых машин марки «Ростсельмаш» составляла более 80%. В 2023 году выросли продажи: зерноуборочных комбайнов – на 8 % до 4617 ед., косилок – на 6 % до

2356 ед. и пресс-подборщиков – на 5 % до 912 ед. В настоящее время осуществляется выпуск сотен новых моделей техники, постоянно улучшается её качество. Современная техника для обеспечения принципа кастомизации имеет широкую вариацию технического облика за счет опционального наращивания. Так, только ГК Ростсельмаш в настоящее время производит более 150 моделей и модификаций машин и оборудования (рисунок 1). В 2024 году компанией Ростсельмаш выпущен ЗУК RSM H820, обладающий принципиально новыми конструктивными решениями, а также развитой автоматизацией технологических и транспортных подсистем. В настоящее время в России производятся зерноуборочные комбайны от третьего до восьмого классов, которые в контексте данной работы можно обозначить как машины базовой и повышенной производительности [1].

Однако в последнее время в условиях санкционного давления и экономической нестабильности отрасли отмечается спад производства. В 2024 году производство сельхозтехники снизилось на 12,6 %, а объем продаж упал на 16,5 %. При этом в количественном выражении по большинству сегментов зафиксировано снижение отгрузок: тракторов на 13 % до 4591 ед., кормоуборочных комбайнов – на 7 % до 278 ед., плугов – на 14 % (2789 ед.), борон – на 22 % (3818 ед.), культиваторов – на 25 % (2027 ед.), сеялок – на 21 % (4150 ед.) [10].

Каждый тип современных сельскохозяйственных самоходных машин имеет оригинальные системы и подсистемы, для разработки которых требуются специальные профессиональные компетенции в областях: гидравлических приводов, трансмиссии, технологических подсистем, систем автоматизации и интеллектуализации, компоновки, расчетов и т.д. Также следует учитывать необходимость создания новых типов машин и оборудования, обеспечивающих реализацию государственных задач. Например, только государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации (утв. постановление Правительства РФ от 14 мая 2021 г. № 731) требует вовлечение в оборот 11,9 млн га земель к 2030 году. При этом парк мелиоративных машин и оборудования для этих целей фактически отсутствует, как и современные конструкторско-технологические переделы в этой области. Совершенно очевидно, что недостаточно и передовых компетенций для их проектирования и производства.

**Рисунок 1 – Основные типы машин и оборудования для АПК
производства группы компаний Ростсельмаш**

Долгое время применение конструкторско-технологических методов, доступ к которым открыли процессы глобализации, не предпо-

лагало внедрения систем управления этапами жизненного цикла машин и тем более машинно-тракторных агрегатов [1]. В текущей ситуации, несмотря на вызовы, обусловленные санкционными ограничениями, производственные процессы управления жизненным циклом изделий только развиваются и требует большего количества и качества трудовых ресурсов с требуемым набором профессиональных компетенций [2, 11].

Машиностроительные производства с момента создания и до настоящего времени претерпевали существенные трансформации не только в подходах и методах конструирования. Вместе с применением передовых методов проектирования отмечены принципиальные изменения в технология производства, обусловленные пересмотром стандартов производства, а также существенным снижением тиражности выпуска машин. Причем условия в специальном машиностроении оказались настолько специфичны, что для него стало невозможно применять опыт транспортного машиностроения. Так, если на заводе КАМАЗ в 80-х годах ежегодно выпускали до 150 тыс. грузовиков, то в отдельные годы новейшей истории ежегодный выпуск снижался менее 50 тыс. автомобилей. Трехкратное снижение выпуска изделий, конечно, сказывалось на применяемых технологиях производства, но не существенно. Например, технология сборки машин осталось прежней, только вместо трех сборочных линий задействовали одну. При этом в сельхозмашиностроении за это же время отмечено 20 кратное снижение выпуска зерноуборочных комбайнов [12], что заставило принципиально перепроектировать технологические процессы. Например, существенные изменения отмечены в технологиях сборки. Из-за перехода на модульную конструкцию машин и снижения тиражности выпуска изделий потребовалось большее применение технологий постовой сборки (рисунок 2, а). В настоящее время активно внедряются технологии «сварочных ячеек» (рисунок 2, б), обеспечивающие возможность изготовления типовых изделий с помощью роботизированного комплекса на одном сварочном посту. Другие производственные переделы ООО «КЗ «Ростсельмаш» также учитывают положительный опыт реализации собственной производственной системы на основе мирового опыта применения инструментов «Бережливое производство», «Упорядочения/5S», TPM, TQM, SMED, «СООП», MRP и Кайдзен-деятельности [17].

*а**б*

Рисунок 2 – Фрагменты процессов модульной сборки ЗУК (а) и изготовления деталей на посту «сварочная ячейка» (б)

В области конструкторско-технологического обеспечения машиностроительных производств условия существенно изменились, при этом их трансформация в систему подготовки кадров не происходила из-за применения западных моделей организации производства и взаимодействия с вузами [2]. В настоящее время образовательный процесс в российской высшей школе нацелен на реализацию федеральных государственных образовательных стандартов нового поколения, методологической основой которых является компетентностный формат обучения [13]. При этом основным механизмом формирования профессиональных компетенций является выборка основных трудовых функций из рекомендуемого перечня профессиональных стандартов. Так, для подготовки конструкторов в области комбайностроения, наиболее подходящим является профессиональный стандарт **28.008 Специалист по инжинирингу машиностроительного производства от 25 мая 2023 г. № 73446**, предполагающий ряд трудовых функций, направленных на управление предприятием, инжиниринговыми процессами и т.д. Наиболее близкой является трудовая функция «Реверсивный инжиниринг продукции машиностроения» (рисунок 3), что не соответствует не только реальным процессам современных машиностроительных производств, но концепции государственной политики новейшего времени. Аналогичные сложности появляются при разработке образовательных программ, направленных на подготовку технологов машиностроительных производств. Применение существующего подхода к формированию набора профессиональных компетенций не позволяет применять его для подготовки инженеров, обеспечивающих процессы современного передового производства.

**Рисунок 3 – Выкопировка из профессионального стандарта
28.008 Специалист по инжинирингу машиностроительного производства**

Несмотря на предусмотренную возможность в федеральном стандарте разрабатывать собственные профессиональные компетенции, формализованных методик для этого нет, а предлагаемые [13] также не позволяют получать конкретный результат в виде набора компетенций и соответствующих им дисциплин. Выделенные этапы развития отрасли сельхозмашиностроения и текущее состояние системы подготовки кадров являются закономерными, поскольку аналогичные процессы ранее отмечены и в транспортном машиностроении, двигателестроении, станкостроении и других отраслях производства [6, 14, 15]. При этом сложившаяся геополитическая ситуация требует сокращения продолжительности каждого из выделенных этапов. С учетом закономерностей технической эволюции машин для АПК [1, 12] процесс развития сельхозмашиностроения и подготовки кадров предложено реализовывать в соответствии с алгоритмом, представленном на рисунке 4. Реализация подхода предполагает предварительное определение технического облика перспективных изделий на основе методики [12], а затем формирование профессиональных компетенций. Для формирования технического облика перспективных изделий разработана методика, которая предусматривает последовательное выполнение процессов: прогнозирования технического облика перспективных изделий; концептуального проектирования структуры, компоновки и технологий производства изделий; определения номенклатуры компетенций инженерных кадров, обеспечивающих проектирование, разработку, технологическую подготовку и производство продукции.

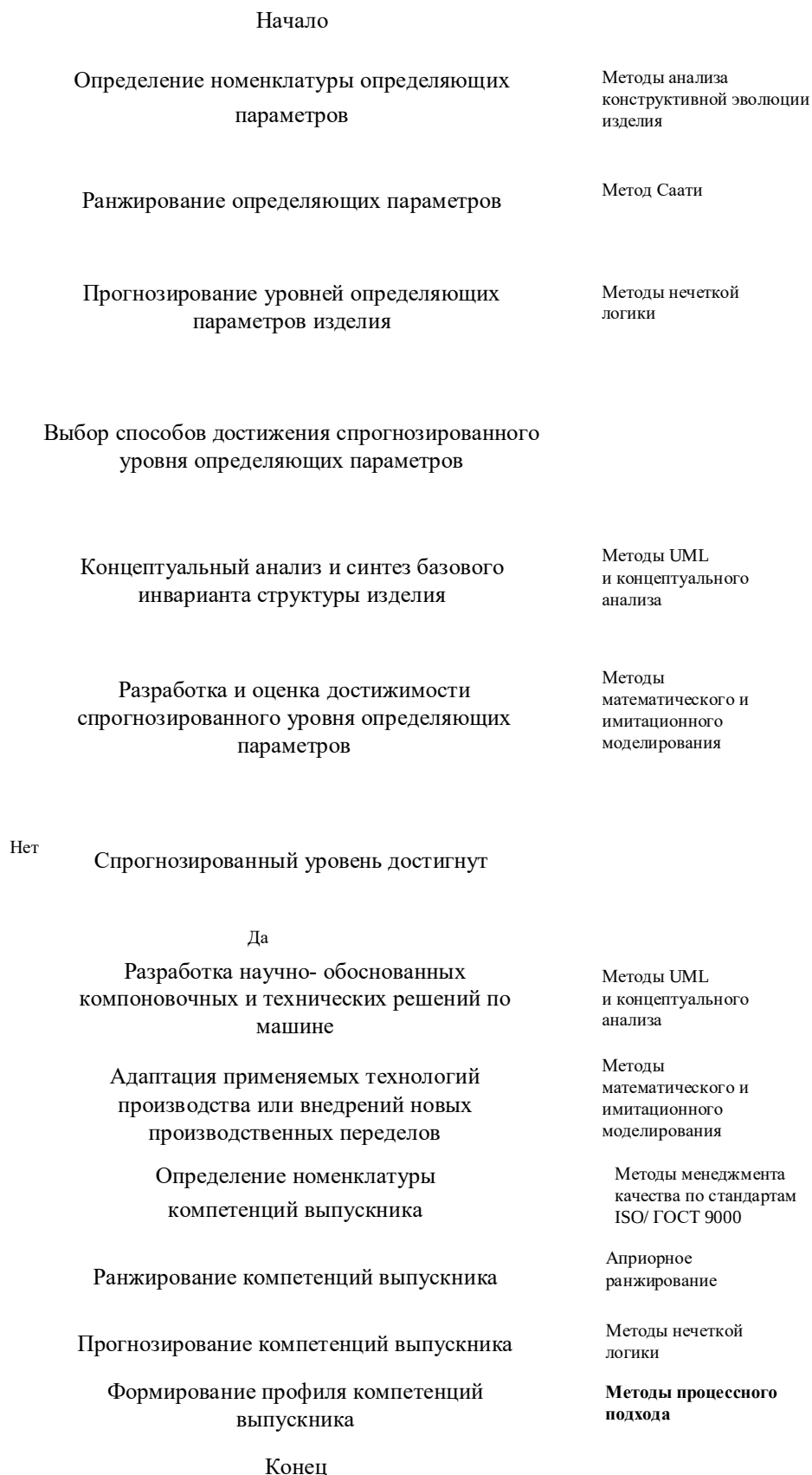


Рисунок 4 – Научно-обоснованная схема формирования технического облика перспективных изделий и профессиональных компетенций инженерных кадров

В отличие от существующего подхода ключевым этапом предложенного алгоритма является определение номенклатуры компетенций выпускника на основе анализа фактически реализуемых процессов передовыми машиностроительными компаниями. Возможность такого формирования образовательных программ обусловлено не только опережением конструкторского и технологического переделов современных предприятий, но и исторически сложившимися закономерностями последовательного накопления компетенций, их систематизации, формирования теории и развития производства.

Например, процессы в компании Ростсельмаш построены на основе принципов международной системы менеджмента качества по стандартам ISO 9000. Деятельность конструкторов регламентирована процессом «Проектирование и разработка продукции» (рисунок 5), технологов – «Технологическая подготовка и освоение производства» и «Производство продукции». Каждый из макропроцессов регламентирует последовательность осуществления процесса, функционал задействованных исполнителей, ответственных лиц и сроки реализации. Анализируемый процесс конкретного предприятия с одной стороны соответствует общепринятым стадиям проектирования, например, ГОСТ 2.103-2013, с другой учитывает специфические особенности отрасли и опыт построения эффективного внутрикорпоративного бизнес-процесса реального предприятия.

Рисунок 5 – Пояснения к процессу «Проектирование и разработка продукции» как этапу основного процесса жизненного цикла продукции

Рассмотренный пример определяет основу для формулировки профессиональных компетенций, которые в рамках рассматриваемого макропроцесса должны обеспечивать возможность его исполнения. В соответствии с основными этапами процесса и пояснениями к нему

(рисунок 5) становится возможным сформировать базовые профессиональные компетенции для подготовки конструкторов в области сельхозмашиностроения. На основе анализируемого макророльца в таблице 1 приведен базовый набор компетенций для конкретного производственного предприятия в анализируемый момент времени. Детализация компетенций требует учета перспективных процессов на основе прогнозирования технического облика и технологий производства.

Таблица 1 – Основные этапы процесса «Проектирование и разработка продукции» и профессиональные компетенции сотрудников для его обеспечения

Основные этапы процесса «Проектирование и разработка продукции»	Наименование профессиональной компетенции для обеспечения этапа
поиск перспективных конструкторских решений, направленных на удовлетворение требований потребителя; подготовка ТЗ на разработку новой или изменение серийно выпускаемой компанией продукции разработка КД	Способен анализировать и обосновывать перспективные технические характеристики изделий и решения в соответствии с запросами потребителей / заказчиков
изготовление и испытания опытных образцов	Способен разрабатывать проектную и конструкторскую документацию на основе передовых методов проектирования
приемка результатов разработки; осуществление авторского надзора	Способен организовывать изготовление и проведение испытаний опытных образцов
подтверждение соответствия	Способен осуществлять приемку и авторский надзор за процессами проектирования, производства и испытаний
	Способен организовывать и проводить процессы подтверждения соответствия изделий заявленным свойствам и параметрам качества, проводить сертификацию

На примере передовой инженерной школы Ростсельмаш, обеспечивающей подготовку инженерных кадров для группы компаний Ростсельмаш, реализуется представленная концепция формирования профессиональных компетенций и перечня

необходимых образовательных программ. Предварительные результаты показывают, что при использовании традиционных подходов разработки и реализации образовательных программ требуется не менее 16 направленностей подготовки конструкторов и технологов производства. В случае применения вышеуказанного подхода, позволяющего исключить из образовательного процесса освоение знаний, навыков и умений, не востребованных в конкретном производственном процессе, стало возможно сократить систему подготовки до шести образовательных программ.

Однако, развитие группы компаний в области тракторостроения, дорожно-строительной техники и других видов специальных машин и оборудования требует большего набора компетенций. Как показала практика реализации проекта передовой инженерной школы, обеспечить требуемую номенклатуру компетенций по всем объектам профессиональной деятельности (рисунок 6) на базе одной научно-образовательной площадки практически невозможно.

Трансмиссии
в т.ч.
автомати-
ческие

Изготовление
деталей из
легкосплавных
материалов

Изготовление
топологически
оптимизирован-
ных деталей

Изготовление
композитных
деталей и узлов

Испытания
модулей, узлов
и деталей

Нанесение
износостойких
наплавов и
напылений

Рисунок 6 – Актуальные конструкторско-технологические переделы на основе макропроцессов ГК Ростсельмаш

Требуется вовлечение и систематизация других научных и образовательных учреждений. В России в научно-образовательный процесс в интересах машиностроения вовлечено 156 вузов, фрагментарно распределенных по стране [2]. Идеализированная модель научно-образовательного процесса и инжиниринга в интересах специального машиностроения требует вовлечение большего числа участников, перечень которых должен определяться совокупным запросом предприятий из системы проектирования и производства специальных машин. На рисунке 6 показаны объекты для конструкторской проработки, а также основные существующие и перспективные технологии сельхозмашиностроения.

Несмотря на совершенствование организационных процессов, обеспечение конструкторско-технологической деятельности передовыми программно-аппаратными возможностями, кадровый вопрос для развития современного производства остается одним из ключевых. Для его решения в настоящее время реализуется не только ряд мер поддержки системы образования, но и происходит пересмотр структуры образования в РФ [2]. Так, в 2022 году получил поддержку проект создания передовой инженерной школы (ПИШ) Ростсельмаш для подготовки инженерных кадров в области сельхозмашиностроения. При софинансировании проекта предприятием и государством был запущен ряд образовательных программ, ключевыми принципами подготовки по которым стали: **практикоориентированность**; шестилетний цикл обучения; командная подготовка; **глубокое изучение естественных и общепрофессиональных дисциплин**; освоение требуемых и перспективных профессиональных компетенций для конкретного предприятия, **гибкость**. Получен уникальный опыт построения и реализации образовательных программ, обеспечивающих подготовку кадров в интересах конкретного индустриального партнера – компании Ростсельмаш. При этом показаны сложности реализации требуемого перечня образовательных программ, обеспечивающих конструкторскую подготовку по всей номенклатуре объектов профессиональной деятельности, а также существующим и перспективным технологическим переделам (рисунк 6). Обоснована целесообразность реализации подготовки кадров на базе сети образовательных учреждений, а структуризацию научно-образовательных процессов в вузах страны осуществлять через отдельные предприятия и группы (ассоциации) предприятий. При этом

формирование перечня образовательных программ и закладываемых в них профессиональных компетенций следует осуществлять на основе анализа конструкторско-технологических переделов конкретных предприятий, требуемого и перспективного спроса на инженерные кадры, а также систематизации этих данных. В соответствии с новой концепцией развития высшего образования РФ [2] необходимо обозначать и представлять интересы специального машиностроения на уровне Федерального учебно-методического объединения при Минобрнауки России в группе по совокупности специальностей единой отраслевой направленности.

Трансляцию передового опыта построения и реализации образовательных программ, вовлечение других вузов страны следует реализовывать через выстроенную структуру взаимодействия предприятий специального машиностроения. В этой области компания Ростсельмаш, являясь лидером российского сельхозмашиностроения, уже активно ведет работу. В рамках корпоративной программы «Образование» открыто более 100 учебных классов в России и за рубежом: более 70 – в ведущих аграрных и технических вузах, свыше 30 – в средних специальных учебных заведениях. География программы распространена не только на регионы России, но и зарубежные страны: Казахстан, Узбекистан, Молдавия, Эстония, Латвия, Словакия, Болгария и др.

Рисунок 7 – Предлагаемая схема структуризации научно-образовательных организаций на основе сети предприятий специального машиностроения

При этом становится важным взаимодействие не только в части подготовки кадров по рабочим специальностям и инженеров, но и вовлечение академического сообщества в процессы определения государственной политики по вопросам ведения эффективного и экологически чистого агрохозяйства как системы, неотъемлемой частью которой является сельхозмашиностроение. Так в начале 2025 года в рамках ежегодного семинара «Чтения академика В. Н. Болтинского» – одним из знаковых событий для сельхозмашиностроения России, состоялась торжественная церемония: на площадке кафедры тракторов и автомобилей РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева была открыта новая аудитория, созданная в партнерстве с компанией Ростсельмаш. В открытии нового образовательного пространства участвовал президент Российской академии наук, Академик РАН, профессор Г. Я. Красников, руководители ключевых вузов и машиностроительных производств, известные ученые, представители федеральных органов исполнительной власти.

**Рисунок 8 – Открытие учебного класса «Ростсельмаш»
в РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева**

Таким образом, удовлетворение потребностей в новой агротехнике требует наращивания не только выпуска машин, прежде всего, российскими предприятиями, но и темпов подготовки инженерных кадров с передовыми профессиональными компетенциями. Необходима комплексная стратегическая координация специального машиностроения и системы подготовки инженеров как взаимосвязанных элементов. Складывающиеся геополитические условия в мире, особенности ведения АПК специфичные и обуславливают особый путь цивили-

зационного развития страны с учетом национальных, культурных особенностей, а также имеющихся производственных, трудовых, интеллектуальных ресурсов и разумных технологий ведения хозяйства.

ВЫВОДЫ

1. Закономерностями развития сельхозмашиностроения и системы подготовки кадров является этапы: формирование навыков, умений и знаний по разработке и производству изделий; систематизация знаний, разработка теоретических основ проектирования и производства; развитие отрасли за счет новых научно-обоснованных технических решений и внедрения результатов научно-образовательной деятельности в производство.

2. Накопленные навыки, умения и знания в современном российском специальном машиностроении на основе мирового опыта требуют систематизации, развития теории и методологии инженерной деятельности, соответствующей текущему и перспективному уровню техники и технологий. Внедрение результатов теоретических исследований, методических разработок возможно при условии ведения разумной государственной политики с учетом социальных, экономических, экологических, производственных особенностей страны.

3. Конструкторско-технологические процессы современных производств опережают темпы развития системы образования и могут быть использованы как основа для формирования образовательных программ, а также разработки их содержательной части. При формировании образовательных программ следует учитывать передовой опыт и фактические производственные процессы отраслевых лидеров реального сектора экономики.

4. Для подготовки инженеров в области специального машиностроения необходимо вовлечение групп (ассоциации) предприятий как структуризатора процесса. Реализация концепции отраслевого взаимодействия между специальным машиностроением и системой подготовки кадров возможно на базе единого центра компетенций специального машиностроения. Обозначенный подход позволит решить не только кадровые вопросы, но и сформировать теоретико-методологический задел для будущего развития одной из ключевых отраслей промышленности в условиях особенного цивилизационного пути России.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Обоснование технического облика агротехники и стратегических подходов ее проектирования / Г. Я. Красников, О. Н. Дидманидзе, П. В. Сиротин, Е. П. Парлюк // Чтения академика В. Н. Болтинского, Москва, 25-26 января 2023 года. – М. : ООО «Сам полиграфист», 2023. – С. 10-32.
2. Общество. Минобрнауки определяет даты. Валерий Фальков предположил, что новая модель высшего образования заработает в 2027 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/751387> (дата обращения: 25.12.2022).
3. Ерохин, М. Н. Творец агроинженерной науки. К 150-летию со дня рождения почётного академика В. П. Горячкина / М. Н. Ерохин // Вестник Российской академии наук. – 2018. – Т. 88, № 7. – С. 650-658. – DOI 0.31857/S086958730000089-5.
4. Горячкин, В. П. Пути развития земледельческой механики / В. П. Горячкин // Сельскохозяйственная механика. – 1930. – № 1-2. – С. 7-8.
5. Мотревич, В. П. Аграрная история России (IX-XX вв.) : учебное пособие / В. П. Мотревич. – Екатеринбург : Урал. аграр. изд-во, 2012. – 448 с.
6. Шаров, В. В. Фрагменты истории отечественного тракторостроения. Технические очерки по тракторостроению в России. Конец XIX – первая половина XX веков / В.В. Шаров // С.П. Баранцевское. Серия – Память жива. Дизайн и вёрстка рекламного агентства «Идеи оптом». – 2015. – 96 с.
7. Ценч, Ю. С. Становление и развитие сельскохозяйственного машиностроения в России до 1917 г. / Ю. С. Ценч // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2019. – Т. 49. – № 6. – С. 109-115.
8. Кузнецов, И. В. Сельскохозяйственные орудия и машины в России в XIX веке / И. В. Кузнецов, С. Ю. Седнев // Наука без границ. – 2021. – № 9(61). – С. 9-13.
9. Бабкин, К. А. Разумная промышленная политика или как нам выйти из кризиса / К. А. Бабкин. – М. : 2008. – 100 с.
10. Интернет-портал «Росспецмаш-Стат». Росспецмаш [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rospetsmash.ru/rospetsmash-stat> (дата обращения: 15.01.2025).
11. Дефицит кадров для АПК обсудили в Москве с участием Ассоциации «Росспецмаш». Новости. Росспецмаш [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rospetsmash.ru/novosti-assotsiatsii-rospetsmash/5711-defitsit-kadrov-dlya-apk-obsudili-v-moskve-s-uchastiem-assotsiatsii-rospetsmash> (дата обращения: 30.01.2025).
12. Сиротин, П. В. Метод прогнозирования технического облика зерно- и кормоуборочных комбайнов новых поколений с обоснованием структуры их виброзащитной системы / П. В. Сиротин // Тракторы и сельхозмашины. – 2021. – Т. 88. – № 6. – С. 15-28.
13. Солодянкина, О. В. Разработка документов по моделированию и определению путей формирования компетенций выпускника вуза (теоретические и методические аспекты) : учебное пособие / О. В. Солодянкина. – Ижевск : Изд-во «Удмуртский университет», 2015. – 70 с.

14. Половинкин, А. И. Теории проектирования новой техники: закономерности техники и их применение / А. И. Половинкин. – М. : Информэлектро, 1991. – 101 с.

15. Жилейкин, М. М. Прогнозирование значений определяющих показателей при формировании технического облика особо легких высокоподвижных колесных транспортных средств / М. М. Жилейкин, М. Р. Калимулин, А. В. Мирошниченко // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. – 2012. – № 10(10). – С. 24.

16. Производственная Система Ростсельмаш: результативность и эффективность. Производственные системы. Управление производством [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://uppro.ru/library/production_management/systems/rezultativnost-i-effektivnost/ (дата обращения: 15.01.2025).

Об авторах:

Бабкин Константин Анатольевич, президент ассоциации «Росспецмаш».

Дидманидзе Отари Назирович, Академик Российской академии наук, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», didmanidze@rgau-msha.ru.

Сиротин Павел Владимирович, доктор технических наук, заместитель директора Института перспективного машиностроения «Ростсельмаш» по научно-образовательному направлению, Spv_61@mail.ru.

Парлюк Екатерина Петровна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры, ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», kparlyuk@yandex.ru.

About the authors:

Konstantin A. Babkin, President of the Russian Association of Specialized Machinery and Equipment Manufacturers.

Otari N. Didmanidze, Academician of Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Engineering), professor, Head of the department, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, didmanidze@rgau-msha.ru.

Pavel V. Sirotin, D.Sc. (Engineering), Deputy Director for Research and Education, Institute of Advanced Engineering «Rostselmash», Spv_61@mail.ru.

Ekaterina P. Parlyuk, D.Sc. (Engineering), professor of the Department, Bauman Moscow State Technical University, kparlyuk@yandex.ru.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ УБОРОЧНЫЙ КОМБАЙН ДЛЯ УБОРКИ КАРТОФЕЛЯ С ЦИФРОВОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ ОЧИСТКИ

А. С. Дорохов, А. В. Сибирёв, М. А. Мосяков

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В настоящее время в России, как и во всем мире остро стоит вопрос продовольственного обеспечения населения качественными, функциональными продуктами питания, потребление которых обеспечит необходимый набор микро и макроэлементов для здоровья человека. Данная проблема обостряется сложившимися в последние годы климатическими, экологическими и демографическими изменениями.

Таким образом, основной целью работы является разработка автоматизированного уборочного комбайна для уборки картофеля с цифровой системой управления.

Ключевые слова: уборка, очистка, комбайн, сепарация, качество.

AUTOMATED POTATO HARVESTER WITH DIGITAL CLEANING CONTROL SYSTEM

A. S. Dorokhov, A. V. Sibirev, M. A. Mosyakov

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. Currently, in Russia, as well as throughout the world, the issue of food supply to the population with high-quality, functional food products, the consumption of which will provide the necessary set of micro and macronutrients for human health, is acute. This problem is aggravated by the climatic, ecological and demographic changes that have developed in recent years.

Thus, the main purpose of the work is to develop an automated harvester for potato harvesting with a digital control system.

Keywords: cleaning, combine harvester, separation, quality.

Повреждение клубней картофеля при механизированной уборке зависит от многих факторов, главными из которых являются конструкция картофелеуборочных машин, материал, из которого изготовлены рабочие органы машин и режимы работы. Не последнюю роль играют физико-механические свойства клубней, зависящие в свою очередь от сорта, агротехники возделывания, структуры почвы, климатических условий.

Однако, определяющее значение на полноту сбора продукции и сохранение урожайности картофеля влияют технологии уборки и технические средства для их осуществления, от конструктивного исполнения которых зависят качество уборки и соответственно экономический эффект производства [1, 2]. Существующие конструкции уборочных машин представляют совокупность систем сепарации различного исполнения, для повышения качества работы которых используется сочетание известных схем очистки, способствующие повышению материалоемкости уборочной машины и соответственно ее весу – отрицательным образом сказывающее на уплотнение почвенного слоя при уборке [3-4]. В настоящее время доступны три типа машин для уборки корнеплодов [5]. Первый тип – это копающий комбайн для уборки корнеплодов, в который входит комбайн, к примеру, для сбора маниоки 4UMS390II, разработанный Сюэ и др. [6], комбайн для сбора маниоки ТЕК в Гане [7-9] и комбайн для сбора маниоки модели Р900 в Бразилии [10, 11], как показано на рисунке 1а. Этот тип комбайна может работать только в полумеханизированном режиме и требует ручного выдергивания клубней после рыхления почвы. Хотя они и демонстрируют меньшую эксплуатационную эффективность, но хорошо подходят для различных почвенных условий.

**Рисунок 1 – Типичные модели типов основных комбайнов
для уборки корнеплодов:**

а – комбайн для уборки корнеплодов копательного типа; *б* – комбайн для уборки корнеплодов копательно-встряхивающего типа

Второй тип – это комбайн для уборки корнеплодов с копанием и встряхиванием, который включает в себя вибрационный комбайн для сбора корнеплодов, разработанный Gupta и др. [10] в Таиланде, также классическая модель комбайна для уборки маниоки API, разработанная в Малайзии [11], комбайн для уборки маниоки с задним сбором

4УМЗ-1400, разработанный Ли и др. [12] и комбайн для уборки маниоки 4УМ-160, который использует технический маршрут сгребания (срезания), рыхления почвы, просеивания почвы, отделения-подъема и размещения, как показано на рисунке 1b. Этот вид комбайна может работать на полностью механизированном уровне, с высокой эксплуатационной эффективностью, но он потребляет много энергии и плохо адаптирован к различным типам почв, на которых выращивается маниока, с меньшими потерями и повреждениями клубней на песчаных почвах и с большими потерями клубней и повреждение глинистых почв. Этот вид комбайна может обеспечить полностью механизированную работу, относительно высокую эксплуатационную эффективность, низкое энергопотребление и отличную адаптируемость к почве, что обусловлено необходимостью совершенствования процессов очистки товарной продукции от почвы.

Поэтому основным направлением развития комбайнов для уборки корнеплодов является тип копания-вытаскивания. Следовательно, в настоящее время не хватает автоматизированных инструментов принятия решений, комплексно использующих данные различных информационных источников для поддержки и оптимизации производственных и технологических процессов. В целях повышения уровня автоматизации следует стремиться регистрировать важные параметры в реальном времени или через другие источники и включать их в массив данных, образовавшийся в результате слияния, для реализации положения которого необходимо выполнить обзор конструктивных схем машин для уборки картофеля, на основании результатов которых определиться с процессами автоматизации и разработки принципиальной конструктивно-технологической схемы картофелеуборочного комбайна с цифровой системой элементов искусственного интеллекта, обеспечивающие распознавание почвенных комков и их отделение от товарной продукции, необходимо выполнить анализ конструктивных схем современных уборочных машин для выявления оценки эффективности использования картофелеуборочных комбайнов, осуществляющих процесс уборки. В ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» при поддержке Российского научного фонда (РНФ) в рамках выполнения проекта № 22-76-1000 «Разработка автоматизированного уборочного комбайна для уборки картофеля с цифровой системой управления очистки» выполняется разработка комбайна (рисунок 2).

Автоматизированный комбайн для уборки картофеля с цифровой системой управления очистки должен выполнять технологический процесс при поступательном движении по учетной делянке и последовательном извлечении клубней картофеля из почвы с последующей передачей их в устройство очистки для дальнейшего перемещения, очистки и погрузки в устройство сбора.

Автоматизированный комбайн для уборки картофеля должен обеспечивать выполнение технологического процесса работы по современным схемам возделывания при распознавании клубней картофеля и комков почвы, передачи данных на исполнительный механизм удаления с синхронизацией движения автоматизированной сепарирующей системы при энергетических затратах на привод транспортирования продукции 5...10 кВт.

Автоматизированный комбайн для уборки картофеля имеет составную рамную конструкцию 1, которая опирается на 2 ходовых колеса 2 и стояночную опору 3. Рабочими органами комбайна являются следующие агрегаты и механизмы: подкапывающая секция 4, приемный элеватор 5, основной элеватор 6, штифтовая горка 7, поперечный транспортёр 8, приемный бункер 9, система гидравлическая 10. Дополнительно над переборочным столом установлен модуль 11 оптической системы идентификации (рисунок 2), представляющий собой систему технического зрения и подсвечивания, фиксирующей прохождение картофеля, растительных и других примесей.

Выполнена разработка технического задания и конструкторской документации на автоматизированный комбайн для уборки картофеля с цифровой системой управления очистки для выкапывания картофеля, посаженного картофелепосадочными машинами с междурядьями 70, 75 и 90 см, отделения клубней от ботвы, растительных и других примесей, сбора клубней в приемный бункер с последующей их выгрузкой в транспортное средство и передачей данных на исполнительный механизм удаления с синхронизацией движения автоматизированной сепарирующей системы при энергетических затратах на привод транспортирования продукции 5...10 кВт на основании которых разработан автоматизированный комбайн для уборки картофеля с цифровой системой управления очистки.

Для определения показателей качества работы автоматизированного уборочного комбайна для уборки картофеля с цифровой системой управления очистки необходимо проведение испытаний как в лабораторных, так и полевых условиях.

Работа выполнена при государственной поддержке РФК конкурса 2022 года «Проведение исследований научными группами под руководством молодых ученых» Президентской программы исследовательских проектов, реализуемых ведущими учеными, в том числе молодыми учеными No 22-76-10002.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жевора, С. В. Современное лабораторное оборудование и сельскохозяйственная техника для селекции и семеноводства картофеля / С. В. Жевора, В. А. Ружьев, И. З. Теплинский. – М., 2019. – 80 с.
2. Калинин, А. Б. Мировые тенденции и современные технические системы для возделывания картофеля / А. Б. Калинин. – Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. – Санкт-Петербург, 2016. – 160 с.
3. Колчин, Н. Н. Новая техника для картофелеводства / Н. Н. Колчин, А. Г. Пономарев, В. Н. Зернов // Картофель и овощи. – 2019. – № 6. – С. 26-29.
4. Селекции и семеноводству картофеля необходима механизация / А. Г. Пономарев, Н. Н. Колчин, В. Н. Зернов, С. Н. Петухов // Картофель и овощи. – 2017. – № 3. – С. 22-24.
5. Развитие механизированной посадки картофеля в селекционных и семеноводческих питомниках / В. Н. Зернов, А. Г. Пономарев, Н. Н. Колчин, С. Н. Петухов // Картофель и овощи. – 2017. – № 12. – С. 23-25.
6. Техничко-экономические изыскания технических средств, определяющих критические машинные технологии на разных этапах селекции и семеноводства картофеля / В. Н. Зернов, Н. Н. Колчин, С. Н. Петухов, А. В. Сибирев, В. И. Еремченко, М. М. Шогенова // Картофелеводство : материалы научно-практической конференции. – 2017. – С. 98-106.
7. Влияние элементов сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин на его надежность / М. Ю. Костенко, Г. К. Рембалович, В. С. Жбанов, Н. Н. Новиков, В. С. Тетерн, Д. С. Мельгичук // Техника и оборудование для села. – 2020. – № 7 (277). – С. 34-37.
8. Сорокин, А. А. Производство картофеля и овощей в фермерских хозяйствах / А. А. Сорокин, А. Г. Пономарев // Ресурсосберегающие технологии и техническое обеспечение производства зерна : сб. науч. докладов Международной научно-технической конференции. – М. : ВИМ, 2010. – С. 134-138.
9. El-Rahman, Abd. Development and performance evaluation of a simple grading machine suitable for onion sets / Abd. El-Rahman; M. Magda // Soil. Sci. and Agric. Eng. Mansoura Univ. – 2014. № 2. – pp. 213-226.
10. Akdemir, B. Mechanized panting and harvesting of onion / B. Akdemir, P. Ulger, S. Arin // Agric. Mech. Asia. – 1993. – № 24. – pp. 23-26.
11. Shanmugam, C. J. Indigenous development of low cost harvesting machine. / C. J. Shanmugam, G. Senthilkumar // ARPN J. Eng. Appl. Sci. – 2017. № 12. – pp. 4489–4490.

12. Pasaman, B. The determination of the parameters of a ploughshare-rotor potato digger / B. Pasaman, V. Zakharchuk // Econtechmod. Int. Q. J. – 2012. № 1. – pp. 43-47.

Об авторах:

Дорохов Алексей Семенович, академик РАН, доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научно-организационной работе, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», dorokhov@rgau-msha.ru.

Сибирёв Алексей Викторович, доктор технических наук, профессор, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», sibirev2011@yandex.ru.

Мосяков Максим Александрович, кандидат технических наук, доцент, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», mosyakov@rgau-msha.ru.

About the authors:

Alexey S. Dorokhov, Academician of the Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Engineering), Professor, Deputy Director for Scientific and Organizational Work, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, dorokhov@rgau-msha.ru.

Alexey V. Sibirev, D.Sc. (Engineering), professor, Federal Scientific Agroengineering Center of VIM, sibirev2011@yandex.ru.

Maxim A. Mosyakov, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, Federal Scientific Agroengineering Center of VIM, mosyakov@rgau-msha.ru.

ДЕТОКСИКАЦИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ СТОКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ

О. Н. Дидманидзе, А. В. Евграфов, Д. А. Филимонов

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований по воздействию электрических полей на изменение концентрации аммонийных форм азота в водных растворах, далее электролите, которыми являются сточные воды животноводческих комплексов, как одни из наиболее опасных загрязнителей окружающей среды. Целью проведения лабораторных экспериментальных исследований являлось изучение воздействия электрических полей на изменение концентрации аммонийных соединений азота в водных растворах, электролите, для дальнейшей разработки технических средств по снижению их концентрации и повышению экологической безопасности утилизации сточных вод животноводческих комплексов на полях возделывания сельскохозяйственной продукции.

Ключевые слова: животноводческие стоки, аммонийные формы азота, электрические поля, экология, электролит, животноводческие комплексы, сточные воды.

DETOXIFICATION OF LIVESTOCK EFFLUENTS BY ELECTRIC FIELDS

O. N. Didmanidze, A. V. Evgrafov, D. A. Filimonov

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. This article presents the results of experimental studies on the effect of electric fields on changes in the concentration of ammonium forms of nitrogen in aqueous solutions, then electrolytes, which are wastewater from livestock complexes, as one of the most dangerous environmental pollutants. The purpose of conducting laboratory experimental studies was to study the effect of electric fields on changes in the concentration of ammonium nitrogen compounds in aqueous solutions, electrolyte, for the further development of technical means to reduce their concentration and increasing the environmental safety of recycling wastewater from livestock complexes in the fields of cultivating agricultural products.

Keywords: livestock wastewater, ammonium forms of nitrogen, electric fields, ecology, electrolyte, livestock complexes, wastewater.

В связи с переводом на бесподстилочное содержание животных с применением систем гидросмыва, в большом объёме появились животноводческие стоки, что привело к серьезному обострению проблемы охраны окружающей среды, в частности загрязнением её минеральными веществами, содержащимися в них в больших концентрациях [1, 2].

В России данная проблема стоит очень остро, поскольку аграрный сектор занимает значительное место в экономике страны и имеется большое количество животноводческих комплексов. Для крупных хозяйств объем жидких стоков, подлежащих утилизации, составляет от 100 до 1500 куб. м в сутки [3].

Минеральный азот в почве представлен в основном аммонием, нитратами и нитритами. Последние присутствуют в малых дозах и не сорбируются почвенно-поглощающим комплексом [4, 5].

Аммоний в почве частично подвергается нитрификационному процессу с помощью микроорганизмов, который носит окислительный характер.

По своему составу сточные воды животноводческих комплексов в 1 м³ содержат 0,8...1,4 кг азота, 0,3...0,7 кг фосфора, 0,4...1,2 кг калия. Минеральная часть азота в стоках представлена в основном в виде аммония, который содержится в них в больших концентрациях, чем фосфорные и калийные минеральные соединения, поэтому они являются мощным источником поступления соединений азота в почву. В них содержится общего азота 3,2 % от общего объёма, причём более 50 % азота в легкорастворимой аммиачной форме. Состав сточных вод животноводческих комплексов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав сточных вод животноводческих комплексов

№ п/п	Сточные воды	рН	К	NH ₄	P ₂ O ₅	Взвешен- ный оса- док
Концентрация мг/л						
1	Сточные воды свинокомплексов	7,5	274	573	152	1347
2	Сточные воды	7,4	860	420	158	1347

Для проведения исследований использовались следующие оборудование, представленное на рисунке 1:

1. Тестер для постоянного и переменного тока до 600 В;
2. рН-метр с диапазоном измерения 0...14, точность измерений 0,01;
3. Штангельциркуль цифровой с точностью измерения 0,1 мм;
4. Профессиональные тесты для воды NH₃/NH₄ производства компаний НИЛПА и UHE;
5. Солемер TDS-метр ИК-1 производства компании TEXMETP для определения содержания общего количества солей в электролите и его температуры;
6. Газоанализатор с возможностью обнаружения газообразных форм азота производства компании HAVOTEST;
7. Электроды-колонны из алюминиевых труб (сплав АД31Т1) с внешним диаметром 16 мм и 50 мм, внешняя токоизоляция выполнена в два слоя термоусадочными рукавами марки Ф70 с максимальной нагрузкой каждого слоя 10 кВ;
8. Лабораторный источник питания постоянного тока RGK PS-1326 с максимальными значениями постоянного тока 6 А и 32 В.

Рисунок 1 – Используемое оборудование и материалы

При проведении экспериментальных исследований использовалась схема подключения, показанная на рисунке 2, при которой катодом являлся внешний электрод колонны, а внешний – анодом, при значениях постоянного тока 12 в 5 А.

Для имитации содержания аммония в электролите использовалась дистиллированная вода с добавлением аммиачной селитры с последующим определением концентрации азотных соединений мг/л, водородного показателя рН, общего содержания солей РРМ.

Рисунок 2 – Принципиальная схема экспериментальной установки

Электролит объемом 500 мл загружался в колонну между электродами, рисунок 2, и обрабатывался постоянным током. Время обработки в течении проведения одного опыта составляло соответственно 1, 3, 4 и 9 минут, в процессе которого фиксировался выход газообразных азотных соединений при помощи газоанализатора. После завершения эксперимента определялись такие параметры электролита как: концентрация азотных соединений мг/л; водородный показатель рН; общее содержания солей РРМ.

Для имитации содержания аммония в электролите использовалась дистиллированная вода с добавлением аммиачной селитры с последующим определением концентрации азотных соединений (мг/л), водородного показателя (рН), общего содержания солей (РРМ).

На рисунке 3 показаны результаты проведения опыта при концентрации NH_3NH_4 300 мг/л и соответственно временного интервала обработки 1, 3, 4 и 9 минуты. Конечные значения составили 75, 65, 45 и 15 мг/л по сравнению с начальной в 300 мг/л.

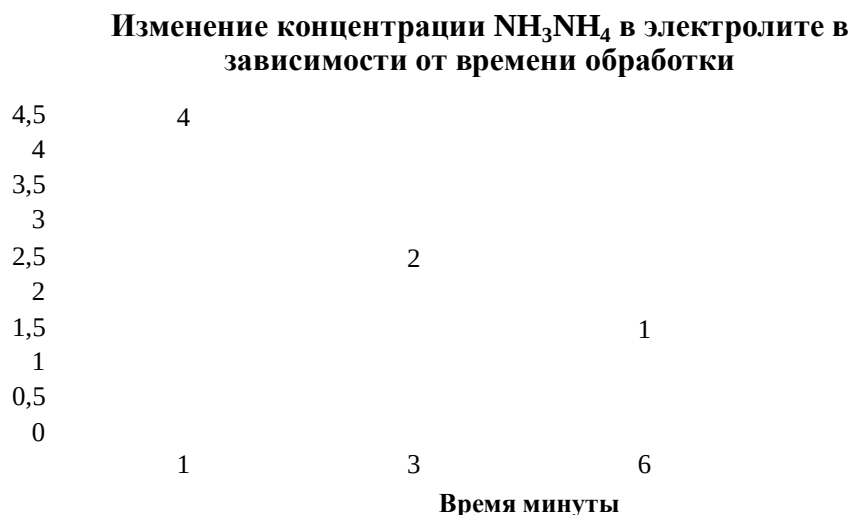


Рисунок 3 – Изменение концентрации электролита в зависимости от времени обработки при начальном значении 300 мг/л NH_3NH_4

Выводы

1. Проведенные лабораторные экспериментальные исследования показали возможность снижения концентрации аммонийный соединения в водных растворах, электролитах, которыми являются сточные воды животноводческих комплексов.

2. При концентрации 300 мг/л приближенной к реальной содержащийся в сточных водах животноводческих комплексов и минимальном времени обработки 1 минута, конечный результат составил 75 мг/л, что говорит о перспективности данного способа очистки и разработки промышленного образца технического средства для обработки стоков животноводства.

3. Снижение концентрации аммонийного азота уменьшает экологическую нагрузку на окружающую среду, в частности на почву, грунтовые и поверхностные воды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ современных технологий использования животноводческих стоков / П. Ф. Тиво, А. С. Анженков, Л. А. Саскевич, Е. А. Бут // Мелиорация. – 2017. – № 3(81). – С. 54-63.

2. Kadlec, R. Wetland systems for water pollution control / R. Kadlec // Water Science and Technology – 1997. – № 5. – 347 p. – [https://doi.org/10.1016/0273-1223\(95\)90002-0](https://doi.org/10.1016/0273-1223(95)90002-0).

3. Водяников, В. И. Экологические проблемы животноводческих комплексов / В. И. Водяников, С. И. Николаев, В. В. Шкаленко // Стратегическое эколого-экономическое развитие регионов и муниципальных образований в условиях глобализации : материалы международной научно-практической конференции, Москва, 30 марта 2017 года. – М. : Российская академия естественных наук, 2017. – С. 212-218.

4. Васюков, А. Е. Исследование сорбции-десорбции нитрат-ионов почвами потенциометрическим методом / А. Е. Васюков, Е. С. Самсонова // Научные труды Калужского государственного университета имени К. Э. Циолковского : материалы докладов, Калуга, 13-14 апреля 2022 года. – Калуга: ФГБОУ ВО «Калужский государственный университет им. К. Э. Циолковского», 2022. – С. 205-211.

5. Кавердова, И. С. Нитраты в почве и их влияние на качество овощей и здоровье людей / И. С. Кавердова // Исследования молодежи – экономике, производству, образованию : материалы XIV Всероссийской молодежной научно-практической конференции, Сыктывкар, 17-21 апреля 2023 года. – Сыктывкар : Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова, 2023. – С. 102-107.

6. Дидманидзе, О. Н. Основы работоспособности и надежность технических систем / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев. – М. : Учебно-методический центр «Триада», 2020. – 232 с.

7. Дидманидзе, О. Н. Проектирование производственных процессов в растениеводстве с использованием компьютерных технологий / О. Н. Дидманидзе, О. П. Андреев, А. Н. Журилин. – М. : ООО «УМЦ «Триада», 2018. – 150 с.

8. Парлюк, Е. П. Управление разработкой и созданием инженерно-технических систем сельскохозяйственного назначения / Е. П. Парлюк. – М. : Редакция журнала «Механизация и электрификация сельского хозяйства», 2019.

9. Парлюк, Е. П. Методология инновационно-информационного развития и модернизации сельскохозяйственного производства с учетом региональных особенностей / Е. П. Парлюк // Международный технико-экономический журнал. – 2017. – № 5. – С. 114-115.

10. Результаты экспериментальных исследований влияния электрических полей на содержание аммония в животноводческих стоках / О. Н. Дидманидзе, А. В. Евграфов, Н. Н. Пуляев, Д. А. Филимонов // Агроинженерия. – 2024. – Т. 26, № 5. – С. 4-9. – DOI 10.26897/2687-1149-2024-5-4-9.

11. Результаты исследований пожароопасности торфа в зависимости от степени его разложения на землях сельскохозяйственного назначения / О. Н. Дидманидзе, А. В. Евграфов, Н. Н. Пуляев, А. С. Гузалов // Природообустройство. – 2024. – № 4. – С. 26-33. – DOI 10.26897/1997-6011-2024-4-26-33.

Об авторах:

Дидманидзе Отари Назирович, академик РАН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», didmanidze@rgau-msha.ru.

Евграфов Алексей Владимирович, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», a.v.evgrafov@rgau-msha.ru.

Филимонов Дмитрий Александрович, ассистент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», filimonov.dmitrii@rgau-msha.ru.

About the authors:

Otary N. Didmanidze, Academician of the Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Engineering), professor, Head of the Department, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, didmanidze@rgau-msha.ru.

Alexey V. Evgrafov, D.Sc. (Engineering), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, a.v.evgrafov@rgau-msha.ru.

Dmitry A. Filimonov, assistant, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, filimonov.dmitrii@rgau-msha.ru.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ТОПЛИВОПОДАЧИ ГАЗОВЫМИ СИСТЕМАМИ ПИТАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ВПРЫСКА

А. В. Неговора, И. Р. Исанбердин, Т. Р. Башаров

*ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», г. Уфа,
Российская Федерация*

Аннотация. В статье изложены причины и последствия неравномерной подачи газозоудушной смеси в цилиндры газовыми системами питания распределенного впрыска.

Ключевые слова: газовый двигатель, компримированный природный газ, неравномерность подачи топлива, дозатор газа.

INVESTIGATION OF THE UNEVENNESS OF FUEL SUPPLY BY DISTRIBUTED INJECTION GAS POWER SYSTEMS

A. V. Negovora, I. R. Isanberdin, T. R. Basharov

Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russian Federation

Abstract. The article describes the causes and consequences of uneven supply of the gas-air mixture to the cylinders by distributed injection gas power systems.

Keywords: gas engine, compressed natural gas, uneven fuel supply, gas dispenser.

В настоящее время большое внимание уделяется улучшению экологических и экономических показателей автотракторной техники и одним из наиболее распространенных подходов является перевод их силовых установок на газомоторное топливо. При этом совершенствование процессов подачи газозоудушной смеси в цилиндры и управление этим процессом на разных режимах работы двигателя позволяет еще более улучшить показатели работы газовых двигателей [1].

Изменение технического состояния элементов топливной системы и параметров топливоподачи в процессе эксплуатации оказывает существенное влияние на показатели работы газовых двигателей. Важнейшими критериями оценки газовой топливной системы являются стабильность конструктивно-регулирующих параметров и параметров процесса топливоподачи, в частности, межцилиндровая рав-

номерность подачи газа дозаторами, стабильность давления в топливной рампе и редукторе, идентичность продолжительности и закона управляющего импульса и др.

Двигатели, работающие на сжатом природном газе, отличаются от двигателей, работающих на жидких моторных топливах значительно более высокой температурой рабочего тела в конце рабочего хода (такта сгорания). Изложенные в литературе данные [2-4], показывают, что в зависимости от порционного состава топливовоздушной смеси, определяемого коэффициентом избытка воздуха α , температура рабочего тела в конце такта сгорания у бензинового ДВС составляет 2350...2500 К, у дизельного ДВС – в диапазоне 1800...2000 К, а газовый ДВС завершает рабочий ход при температуре равной 2600...3000 К и выше. Исходя из этого следует, что даже незначительное увеличение неравномерности топливоподачи дозаторами газа в процессе эксплуатации повышает тепловую нагрузку на рабочее тело и в целом снижает надежность, технические, экологические и экономические показатели газомоторного двигателя.

Анализ неисправностей системы питания газовых двигателей показывает, что наиболее распространенными причинами снижения ресурса электромагнитных дозаторов газа являются [5-7]: нарушение технологии монтажных работ; игнорирование периодичности ТО; применение низкокачественных фильтрующих элементов; некачественное сервисное обслуживание; устаревший регламент проведения ТО газобаллонного оборудования. В результате в процессе эксплуатации достаточно часто происходит неравномерный износ клапана дозатора газа и загрязнение различными фракциями, это приводит постепенному снижению скорости открытия и закрытия клапана, чаще к нарушению герметичности клапана [8-10].

Нарушение герметичности клапана электромагнитного дозатора газа приводит к утечке газа (неуправляемой подаче топлива во впускной коллектор) и в целом к обогащению газозвушной смеси, поступающей в другие цилиндры.

$g_{цi} + g_{утечi}$ ($g_{цi}$ – цикловая подача дозатора газа, $g_{утечi}$ – постоянная дополнительная подача газа из-за нарушения герметичности, i – номер цилиндра). При этом в силу конструктивных особенностей газовых систем питания обогащение смеси происходит не только в цилиндре с негерметичным дозатором, но также во всех других цилиндрах, соединенных к этому впускному коллектору (рисунок 1).

**Рисунок 1 – Схема движения топлива при нарушении герметичности
дозатора газа № 2**

Известно, в распределенной системе питания подача газа в камеру сгорания осуществляется только при открытии впускных клапанов. Соответственно, большая часть утекающего с дозатора газа, например, со 2 цилиндра, распространяется во впускном коллекторе по движению потока воздуха, тем самым снижая коэффициент избытка воздуха (α), где создается небольшая концентрация газо-воздушной смеси, которая попадает в следующие цилиндры и обогащает газозоудушную смесь в камерах сгорания. Таким образом, это приводит к обогащению газозоудушной смеси в соответствующих цилиндрах и увеличению частоты вращения коленчатого вала в заданном режиме работы двигателя.

$$g = g_{ц1} + g_{ут2} + g_{ц2} + g_{ут2} + g_{ц3} + g_{ут2} + g_{ц4} + g_{ут}$$

При таких подачах газа частота вращения коленчатого вала будет возрастать, и электронная система управления двигателем будет снижать цикловую подачу топлива ($g_{ц}$) для ее стабилизации путем уменьшения продолжительности управляющего импульса, что приводит к обеднению газозоудушной смеси как раз в тех цилиндрах, где установлен не герметичный дозатор и, как следствие, к повышению температуры в камере сгорания вплоть до критических значений.

Таким образом, неравномерная подача газового топлива по цилиндрам приводит к возможным локальным перегревам деталей

ци-

линдропоршневой группы и выходу их из строя, снижению как экологических, так и экономических показателей, а также сокращению ресурса газового двигателя из-за повышения тепловой нагрузки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анисимов, И. Ф. Научное обоснование перевода тракторного парка на сжатый природный газ / И. Ф. Анисимов, С. Ф. Чернобрисов, В. Г. Бадюл, А. В. Димогло // Вестник Приднестровского Университета. – 2010. – № 1(36).
2. Колчин, А. И. Расчёт автомобильных и тракторных двигателей / А. И. Колчин, В. П. Демидов. – М. : «Высшая школа», 1980. – 400 с.
3. Свиридов, Ю. Б. Проблемы смесеобразования и сгорания в двигателях с внешним смесеобразованием / Ю. Б. Свиридов, Ю. В. Тихонов // Двигателестроение. – 1988. – № 10. – С. 3-7.
4. Неговора, А. В. Совершенствование способов диагностирования топливоподающих систем дизелей с электронным управлением / А. В. Неговора, У. А. Махиянов, А. Ф. Ахметов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2012. – № 14-1. – С. 260-265.
5. Савушкин, А. Новая система газового впрыска СУГ ВДГС-ПБ-4 «ФАВОРИТ» / А. Савушкин, Н. Завадько // Авто Газо Заправочный Комплекс Альтернативное Топливо. – 2006. – № 2 (26)
6. Габитов, И. И. Совершенствование технологий и средств технического сервиса автотракторной и мобильной техники / И. И. Габитов, А. В. Неговора // В сборнике: Перспективы инновационного развития АПК : материалы Международной научно-практической конференции в рамках XXIV Международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2014». – 2014. – С. 167-173.
7. Использование газа в качестве топлива для тракторов / В. М. Володин, П. Д. Липачев, В. В. Корницкий и др. – М. : ЦНИИТЭ и Тракторосельмаш, 1989
8. Генкин, К. И. Газовые двигатели / К. И. Генкин. – М. : Машиностроение, 1977.
9. Лупачев, П. Д. Газовые и газодизельные тракторы, преимущества и недостатки / П. Д. Лупачев, А. И. Филимонов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1998. – № 6.
10. Гайворонский, А. И. Теплонапряженность деталей дизеля, конвертируемого в газовый двигатель / А. И. Гайворонский, Р. В. Богославцев // Газовая промышленность. – 2009. – № 2.
11. Дидманидзе, О. Н. Основы работоспособности и надежность технических систем / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев. – М. : Учебно-методический центр «Триада», 2020. – 232 с.
12. Дидманидзе, О. Н. Исследования показателей тепловыделения газовых двигателей / О. Н. Дидманидзе, А. С. Афанасьев, Р. Т. Хакимов // Записки Горного института. – 2018. – Т. 229. – С. 50-55. – DOI 10.25515/PMI.2018.1.50.

Об авторах:

Неговора Андрей Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой мобильных энергетических и транспортных средств ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», negovora@bsau.ru.

Исанбердин Ильнур Раилевич, младший научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет».

Башаров Тимур Расимович, аспирант, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», TR_Basharov@mail.ru.

About the authors:

Andrey V. Negovora, D.Sc. (Engineering), Professor, Head of the Department of Mobile Energy and Vehicles, Bashkir State Agrarian University, negovora@bsau.ru.

Ilnur R. Isanberdin, Junior Researcher, Bashkir State Agrarian University.

Timur R. Basharov, postgraduate student, Bashkir State Agrarian University, TR_Basharov@mail.ru.

НАПРАВЛЕНИЯ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ КОМПЛЕКТУЮЩИХ И ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

И. Г. Голубев, В. Я. Гольтяпин

ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса», р. п. Правдинский, Московская область, Российская Федерация

Аннотация. Показаны основные направления импортозамещения комплектующих и запасных частей сельскохозяйственной техники. Перспективным направлением для изготовления запасных частей для импортной техники на российских предприятиях является реверс-инжиниринг и 3D-печать деталей. Использование таких технологий позволяет сократить сроки и затраты на изготовление запасных частей. Важным направлением решения проблемы импортозамещения запасных частей для зарубежной сельскохозяйственной техники является ремонт их агрегатов.

Ключевые слова: сельскохозяйственная техника, запасная часть, изготовление, реверс-инжиниринг, 3D-печать, восстановление, ремонт.

DIRECTIONS OF IMPORT SUBSTITUTION OF COMPONENTS AND SPARE PARTS OF AGRICULTURAL MACHINERY

I. G. Golubev, V. Ya. Goltyapin

Russian Scientific Research Institute of Information and Technical and Economic Research on Engineering and Technical Support of the Agro-industrial Complex, Pravdinsky district, Moscow Region, Russian Federation

Abstract. The main directions of import substitution of components and spare parts of agricultural machinery are shown. A promising area for the manufacture of spare parts for imported machinery at Russian enterprises is reverse engineering and 3D printing of parts. The use of such technologies makes it possible to reduce the time and cost of manufacturing spare parts. An important area of solving the problem of import substitution of spare parts for foreign agricultural machinery is the repair of their units.

Keywords: agricultural machinery, spare part, manufacturing, reverse engineering, 3D printing, restoration, repair.

По состоянию на 1 января 2024 года органами гостехнадзора зарегистрировано 383,3 тыс. ед. тракторов, 133,4 тыс. ед. зерноуборочных комбайнов, 12,3 тыс. кормоуборочных комбайнов. По данным субъектов Российской Федерации, в 2023 году сельскохозяйственными товаропроизводителями приобретено зерно- и кормоуборочных комбайнов меньше, чем в 2022 году соответственно на 12,1 % и 3,9 %. Снижение темпов обновления парка таких машин во многом связано с уходом основных брендов производителей сельскохозяйственного машиностроения с территории Российской Федерации (John Deere, New Holland и другие); нарушение логистических цепочек поставки сельскохозяйственных машин, оборудования и запасных частей к ним в связи с наложенными ограничениями недружественных стран в отношении Российской Федерации. Большая импортозависимость существует по таким видам сельскохозяйственных машин и оборудования как свеклоуборочные комбайны и свеклопогрузчики [1, 2]. По данным Минпромторга, в 2023 году доля импортных машин составляла около 45 % [3]. В 2024 году это направление приобретает особую значимость, учитывая стратегические цели «Стратегии развития сельскохозяйственного машиностроения в Российской Федерации на период до 2030 года», где значительное внимание уделяется вопросу импортозамещения. Согласно этой стратегии, к 2024 году доля отечественной сельскохозяйственной техники должна составить не менее 80 % от общего парка машин, используемых в сельском хозяйстве. Одной из основных целей стратегии является снижение зависимости от импортных комплектующих [4].

В условиях санкционного давления на экономику России многие крупнейшие мировые бренды в части производства сельскохозяйственной техники и их комплектующих и запасных частей покинули российский рынок. В настоящее время некоторые виды комплектующих и запасных частей в России вообще не производятся, либо производятся в количестве, не позволяющем удовлетворить внутренний спрос. Поэтому сохраняется рост эксплуатационных издержек, в том числе из-за увеличения доли затрат на запасные части. По данным экспертов различного уровня произошло резкое снижение доступности таких базовых комплектующих как двигатели для тракторов и комбайнов, гидравлические и тормозные системы, коробки передач, гидростатические трансмиссии, компоненты электроники и др. Наиболее дефицитны карданные валы, звездочки, подшипники и турбины к гидрав-

лическим системам, тормозные колодки, фланцы, шестерни для коробок передач и др. По данным экспертов затраты на техническое обслуживание и ремонт импортной техники в период с декабря 2022 по октябрь 2023 года выросли на 44,2 %, а доступность запчастей и расходных материалов находилась на уровне 60...67 %. Из-за увеличения сроков поставок запасных частей и комплектующих возросли простои техники. Поэтому одним из основных направлений импортозамещения комплектующих и запасных частей к зарубежной сельскохозяйственной техники является производство собственных аналогов. Приоритетным направлением развития отрасли сельскохозяйственного машиностроения является достижение технологического суверенитета по ключевым компонентам, сложным узлам и системам машин (коробки передач, ведущие мосты, двигатели и их системы, электронные компоненты, системы привода, системы безопасности, компоненты и системы электрического привода, гидравлические системы, подшипники качения). Приказом Минпромторга России от 10.04.2024 № 1525 утвержден Перечень критической промышленной продукции в отрасли сельскохозяйственного машиностроения Российской Федерации на 2024 год и плановый период 2025 и 2026 годов. В него вошли двигатели, коробки передач, передние и задние мосты, колеса, ступицы и их детали, подшипники, зубчатые колеса, зубчатые передачи, гидроцилиндры, гидромоторы, насосы гидравлические, гидрораспределители и др. [5]. Для решения данной проблемы в стране действуют государственные меры поддержки, в том числе «Правила предоставления субсидии из федерального бюджета автономной некоммерческой организации «Агентство по технологическому развитию» на поддержку проектов, предусматривающих разработку конструкторской документации на комплектующие изделия, необходимые для отраслей промышленности (Утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 18 февраля 2022 г. № 208).

В сложившейся ситуации дефицита импортных деталей и комплектующих одним из направлений решения этой проблемы является изготовление их на российских предприятиях. Многие крупные и небольшие предприятия начали организовывать производства запасных частей для зарубежной сельскохозяйственной техники в России. Изготавливают детали к зерноуборочным комбайнам таких зарубежных брендов как Claas, John Deere, New Holland, Challenger и др. [6].

Большой опыт российские предприятия накопили по изготовлению рабочих органов для зарубежной почвообрабатывающей техники,

в том числе лап культиваторов Sunflower, Salford, WilRich, JohnDeere, Landol, дисковых борон Catros, посевных комплексов John Deere и др. Для повышения качества запчастей эти производства оснащаются современным оборудованием, применяют различные упрочняющие технологии. Перспективным направлением для изготовления запасных частей для импортной техники на российских предприятиях является реверс-инжиниринг и 3D-печать деталей. Использование таких технологий позволяет сократить сроки и затраты на изготовления запасных частей. Себестоимость некоторых деталей, напечатанных на 3D-принтере, ниже зарубежных оригиналов в несколько раз [7].

Важным направлением решения проблемы импортозамещения запасных частей для зарубежной сельскохозяйственной техники является ремонт их агрегатов. По данным анализа различных источников с 2019 по 2022 год спрос на технику бывшую в эксплуатации увеличился на 15 %. Особенной популярностью пользуются тракторы и комбайны, прошедшие капитальный ремонт. В 2022 году произошел рост спроса сельхозпроизводителей на восстановленные детали, например, тормозных колодок на 63,7 %, а гидроцилиндров на 25 %. Российские предприятия проводят ремонт различных машин и агрегатов европейских и американских производителей: двигателей, коробок передач, механических и гидростатических трансмиссий тракторов, спецтехники и автомобилей, таких брендов как John Deree, Claas, Deutz-Fahr, Terrion, Atlas, Hamm, Mercedes, Iveco, Caterpillar, ZF, DANA, Terex, Linde и др.

В России была создана необходимая инфраструктура и накоплен огромный опыт восстановления деталей при ремонте сельскохозяйственной техники, в том числе импортной. Для этого разработаны высокоэффективные технологии, например, плазменная и лазерная наплавка, газопламенное, плазменное и детонационное напыление, в том числе металлокерамических покрытий, и другие. Они позволяют не только восстановить геометрические параметры изношенной детали, но и существенно повысить их износостойкость [8].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Национальный доклад «О ходе и результатах реализации в 2023 году Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия». – М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2024. – 108 с.

2. Бурак, П. И. Анализ динамики обновления парка сельскохозяйственной техники / П. И. Бурак, И. Г. Голубев // Техника и оборудование для села. – 2024. – № 7. – С. 23-26.

3. Импортозамещение в сельскохозяйственной технике: стратегический курс России в 2024 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://agrostruman.ru/blog/tpost/glxpjgeec1-importozameschenie-v-selskohozyaistvenno?ysclid=m14vo2e9k874462717> (дата обращения: 13.01.2025).

4. Стратегия развития сельскохозяйственного машиностроения в Российской Федерации на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 7 июля 2017 года № 1455-р.

5. Приказ Минпромторга России от 10.04.2024 № 1525 «Об утверждении Перечня критической промышленной продукции в отрасли сельскохозяйственного машиностроения Российской Федерации на 2024 год и плановый период 2025 и 2026 годов».

6. Письмо Департамента растениеводства, механизации, химизации и защиты растений Минсельхоза России руководителям органов управления АПК субъектов Российской Федерации от 28.10.2022 № 19/7392 «Информация по запасным частям и комплектующим для сельскохозяйственной техники иностранного производства, производство которых освоено в Российской Федерации». – 20 с.

7. Опыт и экономическая эффективность изготовления запасных частей к зарубежной сельскохозяйственной технике на российских предприятиях / И. Г. Голубев, М. В. Дулясова, В. В. Быков, М. И. Голубев, В. А. Шахов // Техника и оборудование для села. – 2024. – № 9. – С. 46-49.

8. Лялякин, В. П. Развитие индустрии по восстановлению деталей для сельскохозяйственных машин в России / В. П. Лялякин // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2024. – № 18 (2). – С. 4-10.

Об авторах:

Голубев Иван Григорьевич, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса», i.g.golubev@mail.ru.

Гольяпин Владимир Яковлевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса».

About the authors:

Ivan G. Golubev, D.Sc. (Engineering), professor, Chief Researcher, Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Research on Engineering and Technical Support for the Agro-Industrial Complex, i.g.golubev@mail.ru.

Vladimir Ya. Golyapin, Cand.Sc. (Engineering), Leading Researcher, Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Research on Engineering and Technical Support for the Agro-Industrial Complex.

СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА ПРЕПУСКОВОГО ОБОГРЕВАТЕЛЯ

А. В. Неговора, М. М. Разяпов, А. А. Козеев, А. В. Степанов

ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», г. Уфа, Российская Федерация

Аннотация. В статье описан способ регулирования температуры воздушного потока предпускового обогревателя.

Ключевые слова: предпусковой обогреватель, тепловая подготовка, эжектор.

THE METHOD OF REGULATING THE TEMPERATURE OF THE AIR FLOW OF THE PRE-HEATER

A. V. Negovora, M. M. Razyapov, A. A. Kozeev, A. V. Stepanov

Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russian Federation

Abstract. The article describes a method for regulating the temperature of the air flow of a pre-heater.

Keywords: pre-start heater, thermal preparation, ejector.

При эксплуатации автомобиля в холодный период года возникает необходимость производить подготовку двигателя к запуску и принятию нагрузки для обеспечения увеличения пусковой частоты вращения коленчатого вала и снижения износа деталей. Кроме этого, предпусковой обогрев агрегатов трансмиссии, тормозной системы и топливоподающей аппаратуры способствует повышению эксплуатационной надёжности автомобиля при низких температурах.

Как правило, тепловая подготовка двигателя осуществляется при помощи подогрева жидкости в рубашке охлаждения или подогрева картерного масла. В настоящее время на автомобилях КамАЗ устанавливают жидкостные подогреватели 14ТС-10, 15.8106, ПЖД-12Б и воздушные обогреватели семейства «Терммикс», но ни один из них в полной мере не удовлетворяет требованиям ОСТ 37.001.052.200 «Двигатели АТС. Качества пусковые. Технические требования». Связано это с тем, что жидкостный подогреватель осуществляет только подогрев деталей двигателя, но не прогревает масло в картере, а КПД воздушного обогревателя недостаточно высок.

Указанный недостаток можно устранить применением объёмного обогрева масляного картера двигателя с использованием универсального отопительного агрегата и фальшподдона, формирующего направление теплового потока, с возможностью лёгкой адаптации для прогрева любых агрегатов трансмиссии, тормозной системы и топливоподающей аппаратуры.

Особенности адаптации такого агрегата к работе с указанными системами определяются тем, что температура газозооушной смеси (ГВС), выходящей из обогревателя даже на режимах минимальной тепловой мощности, приводит к повреждению пластмассовых и других неметаллических элементов вышеназванных систем. Это ограничивает температуру ГВС величиной 150...170 °С и, в свою очередь, ведёт к неизбежному увеличению времени тепловой подготовки автомобиля.

Проблема уменьшения температуры ГВС без снижения тепловой мощности обогревателя может быть решена применением эффекта эжекции, когда поток горячей ГВС затягивает холодный наружный воздух. В результате их смешивания температура ГВС, подводимой к агрегатам, снижается, но возрастает ее количественная составляющая (расход).

С целью проверки предложенного решения, в Башкирском ГАУ была построена установка на базе воздушного обогревателя «Термикс 18Д-24» с оригинальными кольцевыми эжекционными насадками (рисунок 1а).

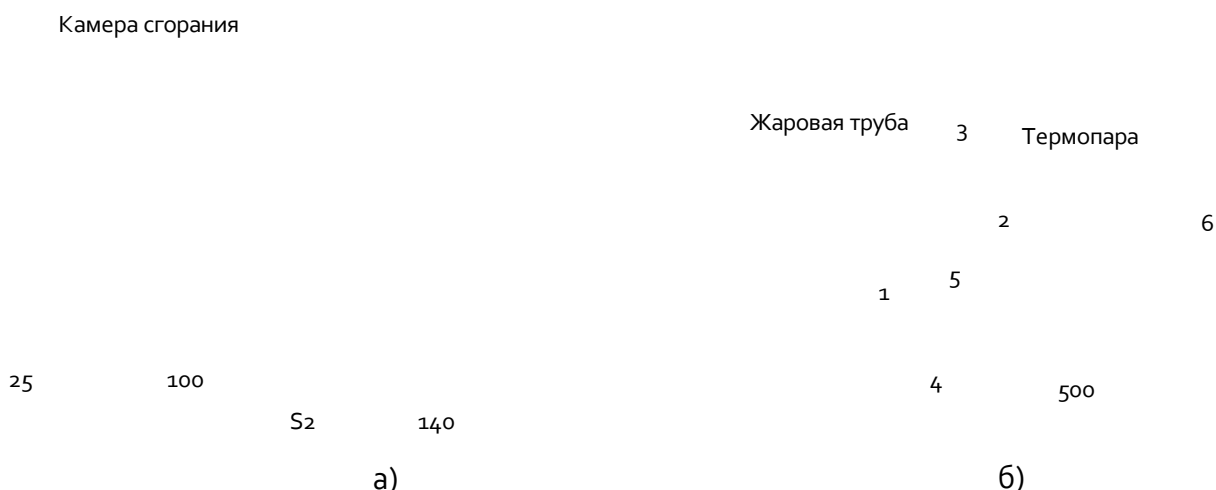


Рисунок 1 – Схема кольцевого эжектора (а) и размещение термопар измерительной установки (б)

Натурные испытания проводились с целью изучения влияния эжекции на температуру ГВС и распределение температуры по сечению насадки. Испытания проводились при температуре окружающей среды 18 °С и скорости ветра 0...0,2 м/с.

Регулируемым параметром в установке являлся диаметр эжектора. Температура потока ГВС на выходе из насадки замерялась в шести точках (рисунок 1б): по краям среза (четыре точки), в центре среза (одна точка) и по центру на расстоянии от среза 500 мм (одна точка).

В процессе эксперимента исследовалось влияние диаметра эжектора на объём захватываемого холодного воздуха и, соответственно, на температуру ГВС. Диапазон изменения диаметров насадок (от 100 до 180 мм) был обусловлен тем, что при диаметре меньше 100 мм эффект эжекции был настолько мал, что не оказывал влияния на температуру ГВС. При диаметре более 180 мм наблюдался обход пламени эжектора, потеря части ГВС и уменьшение эжекции, о чём свидетельствует рост температуры (рисунок 2а).

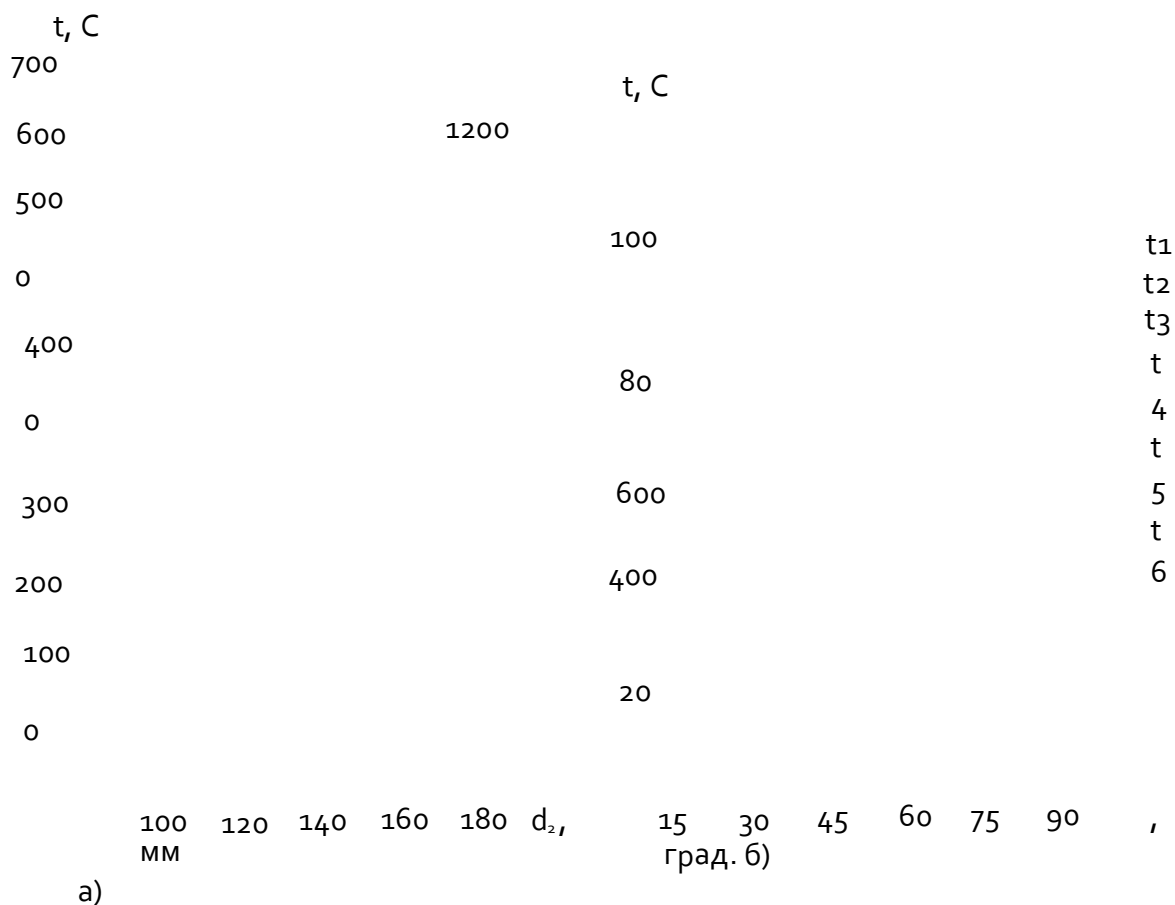


Рисунок 2 – Зависимость температуры ГВС от диаметра d эжектора (а) и угла α наклона щитков (б)

Из рисунка 2а видно, что для снижения температуры ГВС оптимальной конструкцией является эжектор диаметром 140 мм, но такой диаметр трубопровода, подающего горячие газы к агрегатам автомобиля, вызывает затруднения при соединении с фальшподдоном. По-

этому была предложена другая конструкция эжектора, представляю-

щая собой жаровую трубу (диаметр 100 мм) с боковыми эжекционными окнами, причём с целью уменьшения взаимного влияния окна расположены в шахматном порядке (рисунок 3).

Жаровая труба

Камера сгорания

Рисунок 3 – Жаровая труба с эжекционными окнами

Условия испытаний были такими же, как и в предыдущем случае. Регулируемым параметром являлся угол наклона щитков α , при его изменении оказывалось влияние на эффект эжекции. Величина этого угла ограничивалась следующими значениями: при $L = 0^\circ$ насадка становилась гладкой трубой и воздух из атмосферы не поступал. При $L = 90^\circ$ эффект эжекции так же исчезал.

Результаты испытаний приведены на рисунке 2 (график б). Проведённый эксперимент позволил определить оптимальную конструкцию эжекционной насадки и оптимальную величину угла наклона щитков, равного 30° .

Таким образом, по результатам исследования было установлено, что используя эффект эжекции возможна регулировка температуры газозооушной смеси в широких пределах без существенного изменения тепловой мощности обогревателя. Это позволяет производить объёмный обогрев не только масла в картере двигателя, а также топливоподающей, гидравлической и тормозной системы, трансмиссии и других агрегатов автомобиля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев, Е. Н. Моделирование теплопередачи в устройстве подвода теплоты термоэлектрического блока охлаждения / Е. Н. Васильев // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2023. – Т. 16. – № 1. – С. 82-91.
2. Определение оптимизационных подходов при проектировании системы охлаждения газового термоэлектрического генераторного модуля / К. В. Кружаев, Д. П. Шматов, К. В. Зубарев, И. Г. Перевезенцев // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2018. – Т. 14. – № 3. – С. 93-100.
3. Разяпов, М. М. Снижение риска отказов мобильной сельскохозяйственной техники и транспортных средств в условиях низких температур / М. М. Разяпов, Д. А. Гусев // В сборнике: Реновация машин и оборудования : материалы Всероссийской научно-практической конференции. – 2017. – С. 160-166.
4. Туманова, Е. Ю. Оптимизация тепловых потоков технологической установки на основе пинч-анализа / Е. Ю. Туманова, З. Р. Мазина, Р. Г. Имаев // Нефтегазовое дело. – 2022. – Т. 20, № 2. – С. 128-135.
5. Неговора, А. В. Обоснование конструктивно-режимных параметров предпускового подогревателя / А. В. Неговора, Д. А. Гусев / Труды ГОСНИТИ. – 2016. – Т. 125. – С. 90-96.
6. Патент № 2478824 С2 Российская Федерация, МПК F02N 19/00. Устройство с электронным управлением для парового обогрева масляного картера двигателя внутреннего сгорания, коробки передач, мостов автомобиля : № 2011114917/06 : заявл. 15.04.2011 : опубл. 10.04.2013 / И. И. Габитов, А. В. Неговора, М. М. Разяпов, Д. А. Гусев ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Башкирский государственный аграрный университет».
7. Разяпов, М. М. Повышение эффективности тепловой подготовки автотракторной техники путем применения теплоносителя смешанного типа / М. М. Разяпов, Д. А. Гусев // Особенности развития агропромышленного комплекса на современном этапе : материалы Всероссийской научно-практической конференции в рамках XXI Международной специализированной выставки «АгроКомплекс-2011», 2011. – С. 33-35.
8. Кидло, Т. И. Методика совершенствования системы технического сервиса сельскохозяйственной техники в АПК / Т. И. Кидло, А. А. Долгушин // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий : Сборник V Всероссийской (национальной) научной конференции, Новосибирск, 18 декабря 2020 года. – Новосибирск: Издательский центр Новосибирского государственного аграрного университета «Золотой колос», 2020. – С. 356-358.
9. Дидманидзе, О. Н. Исследования показателей тепловыделения газовых двигателей / О. Н. Дидманидзе, А. С. Афанасьев, Р. Т. Хакимов // Записки Горного института. – 2018. – Т. 229. – С. 50-55. – DOI 10.25515/PMI.2018.1.50.
10. Дидманидзе, О. Н. Основы работоспособности и надежность технических систем / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев. – М. : Учебно-методический центр «Триада», 2020. – 232 с.

Об авторах:

Неговора Андрей Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой мобильных энергетических и транспортных средств, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», negovora@bsau.ru.

Разяпов Махмут Магдутович, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», mahmut_23@mail.ru.

Козеев Арсений Александрович, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», k.arsen.a@mail.ru.

Степанов Александр Валерьевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет».

About the authors:

Andrey V. Negovora, D.Sc. (Engineering), professor, Head of the Department of Mobile Energy and Vehicles, Bashkir State Agrarian University, negovora@bsau.ru.

Mahmut M. Razyapov, D.Sc. (Engineering), associate professor, Bashkir State Agrarian University, mahmut_23@mail.ru.

Arseniy A. Kozeev, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, Bashkir State Agrarian University, k.arsen.a@mail.ru.

Alexander V. Stepanov, postgraduate student, Bashkir State Agrarian University.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА МОТОРНОГО МАСЛА В ПРОЦЕССЕ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ

И. Ю. Якименко, Р. Т. Хакимов

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Современные жёсткие требования по экологии к условиям эксплуатации и увеличенным межсервисным интервалам обязывают производителей постоянно улучшать эксплуатационные свойства моторных масел. Объем пакета присадок варьируется от 10 % до 20 % и используется для улучшения качества базового масла. Присадки делятся на антифрикционные, образующие хемосорбированные плёнки, обеспечивающие постоянное дополнительное смазывающее и защитное действие, заметно снижая трение, а соответственно и износ взаимодействующих поверхностей металлов, депрессорные присадки, изменяющие вязкостные свойства, для работы в разных температурных условиях, моющие присадки, использующиеся для растворения и концентрации смолистых веществ, противопенные, предотвращающие вспенивание моторного масла в процессе работы и другие. Из этого следует, что изменение количества элементов присадок в процессе эксплуатации моторного масла будет приводить к изменению качества работы всей системы. Чем дольше количественный состав присадки будет оставаться неизменным или будет происходить его плавное изменение, тем система будет работать более стабильной, тем дольше будет срок эксплуатации моторного масла. Следовательно данный процесс необходимо контролировать путём мониторинга изменения количественного состояния элементов присадок и не допускать их падения ниже определённого уровня.

Ключевые слова: ресурсный потенциал, смазочные масла, техническое обслуживание, условия эксплуатации.

DETERMINATION OF THE RESOURCE POTENTIAL OF ENGINE OIL DURING ITS OPERATION

I. U. Yakimenko, R. T. Khakimov

Saint-Petersburg State Agrarian University, Saint-Petersburg, Russian Federation

Abstract. In the contemporary landscape of stringent environmental regulations and extended maintenance intervals, manufacturers are compelled to continually strive for excellence in engine oil performance. The concentration of additives in these oils typically ranges from 10 to 20 percent, with the primary purpose of enhancing the quality of the base oil. These additives can be categorized into various types. Antifriction additives create chemisorbed films on metallic surfaces, providing a

continuous lubricating and protective layer. These additives effectively reduce friction and minimize wear on metal components. Depressor additives modify the viscosity of the oil, enabling it to adapt to varying temperature conditions. Detergent additives facilitate the dissolution and concentration of resinous substances, while anti-foaming agents prevent the formation of foam within the engine oil. Additionally, other additives contribute to the manufacturing process, contributing to the overall performance and longevity of the engine oil. It is evident that alterations in the quantity and nature of additives employed during the operational phase of engine oil may have a significant impact on the overall efficacy of the system. The longer the additive formulation remains constant or undergoes gradual modifications, the greater the stability of the engine oil system, resulting in an extended service lifespan. To achieve this goal, it is crucial to meticulously monitor variations in the quantities of additive components and prevent their depletion below a predetermined threshold. This process requires meticulous control to guarantee optimal functionality and longevity of the engine.

Keywords: resource potential, lubricating oils, maintenance, operating conditions, tribology, tribological engineering.

Цель исследования – определение методологии расчёта ресурсного потенциала автотракторных моторных масел на основе анализа изменения состояния присадок в течение времени.

Материалы и методы.

В определении срока службы моторного масла изготовители дизельных двигателей внутреннего сгорания ориентируются на нормативное количество израсходованного топлива на единицу объёма картера двигателя, с поправкой на качество используемых горючесмазочных материалов. Под их качеством подразумевается использование указанного класса топлива и рекомендованного изготовителем моторного масла, либо масла, получившего допуск производителя на использование [1, 2, 3, 4, 10, 11]. Допуск производителя – это определённый стандарт качества моторного масла, который был получен опытным путём, подразумевающий полное соответствие всем параметрам, предъявляемым к конкретному маслу автопроизводителем. Масло получает свой допуск только после проведения натурных испытаний на соответствие нормам по регламентам завода-производителя двигателя. Корректировки срока службы масла вводятся на основании соотношения фактических показателей к нормативным по результатам лабораторный анализ проб отработанного моторного масла.

Результаты и обсуждение

В результате санкций усложнился доступ к нормативной базе моторных масел иностранного производства. Точное поэлементное количество присадок трудно определить методом лабораторного анализа

образцов проб, а система ГОСТов устарела и неинформативна. В отсутствии нормативных данных предложено вести понятие ресурсного потенциала моторного масла и расчётного межсервисного интервала. Ресурсный потенциал моторного масла даёт возможность рассчитать ресурс моторного масла основываясь на данных, полученных в процессе анализа проб отработанного моторного масла, проведённого по стандарту ASTM 5185 (ICP) из международной системы в определённые интервалы при отсутствии нормативной документации по определению его срока службы [5, 6, 7].

Ресурсный потенциал моторного масла (t_{ω}) – отношение среднего минимального допустимого значения истощения присадки к фактическому истощению присадки за определённый интервал времени.

$$t_{\omega}$$

Рисунок 1 – Расчет ресурсного потенциала графическим методом

Ресурсный потенциал моторного масла (t_{ω}) выражается в часах и рассчитывается по формуле:

$$t_{\omega} = \frac{0,25k_{cp} \cdot k_{Tmax} \cdot k_{Tcr}}{k_{max} \cdot k_{min}}$$

где k_{cp} – среднее рассчитанное значение присадок за выбранный период, ppm;

k_{Tmax} – среднее значение увеличенных межсервисных интервалов за выбранный период, час;

k_{Tcr} – среднее значение наработки моторного масла за выбранный период час;

k_{max} – максимальное среднее значение присадки за выбранный период, ppm;

k_{min} – минимальное среднее значение за выбранный период, ppm.

Расчётный межсервисный интервал φ_p – сумма средней наработки моторного масла и ресурсного потенциала за выбранный период:

$$\varphi_p = k_{Tcr} + t_\omega$$

где k_{Tcr} – среднее значение наработки моторного масла за выбранный период, час;

t_ω – ресурсный потенциал моторного масла, час.

В результате имеется возможность нормировать межсервисный интервал моторного масла опираясь не на нормативную документацию, а с учётом состояния оборудования и условий его эксплуатации [8, 9].

Выводы

- Подобран метод и оборудование для определения элементов присадок ASTM 5185 (ICP) из международной системы.
- Для оценки ресурса моторного масла сформулировано понятие и выведена формула ресурсного потенциала моторного масла (t_ω).
- Для нормирования межсервисных интервалов введено понятие и выведена формула расчётного межсервисного интервала (φ).
- Получена возможность рассчитать межсервисный интервал состояния оборудования и условий эксплуатации основываясь на данных, полученных опытным путем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 33159-2021. «Масла смазочные отработанные. Определение содержания нерастворимых веществ».
2. ГОСТ 34242-2017. «Нефть и нефтепродукты. Определение никеля, ванадия и железа методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой».
3. ASTM D5185. «Метод для многоэлементного определения использованных и неиспользованных смазочных масел и базовых масел с помощью индуктивно связанной плазменной атомной эмиссионной спектроскопии».
4. Wear in Cummins M-11 / S. Li, A. A. Csontos, B. M. Gable, C. A. Passut, T. Jao // EGR test engines. SAE paper 2002-01-1672, 2002.

5. Афанасьев, А. С. Влияние режимов использования дизеля на дымность отработавших газов / А. С. Афанасьев, Р. Т. Хакимов. С. М. Загорский // Технико-технологические проблемы сервиса. – 2014. – Т. № 2 (28). – С. 56-58.
6. Порохня, А. А. Совершенствование системы нормирования ресурса моторного масла сельскохозяйственных тракторов Challenger MT865C на основе проведения испытаний отработанного масла / А. А. Порохня, И. Ю. Якименко. – Ставрополь : Актуальные проблемы инженерных наук, 2018 – 480 с.
7. Perić, S. Monitoring oil for lubrication of tribomechanical engine assemblies / S. Perić, B. Nedić // Journal of the Balkan tribological association. – 2010. – Vol. 16. – Pp. 242-257.
8. Application of dielectric spectroscopy for engine lubricating oil degradation monitoring, Sensors and Actuators / A L. Guan, X. L. Feng, G. Xiong, J. A. Xie // Physical. – 2011. – Vol. 168. – No.1. – Pp. 22-29.
9. Нигматуллин, Р. Г. Диагностика ДВС по анализу моторного масла / Р. Г. Нигматуллин, В. Р. Нигматуллин, И. Р. Нигматуллин. – Уфа : ГУП РБ «Уфимский полиграфкомбинат», 2011. – 297 с.
10. Дидманидзе, О. Н. Математическая модель фазового перехода сжиженного метана в криогенном баке транспортного средства / О. Н. Дидманидзе, А. С. Афанасьев, Р. Т. Хакимов // Записки Горного института. – 2020. – Т. 243. – С. 337-347.
11. Научные основы математического моделирования процессов теплообмена в теплообменнике тягово-транспортного средства / О. Н. Дидманидзе, Р. Т. Хакимов, Е. П. Парлюк, В. В. Рудомазин. – М. : УМЦ «Триада», 2020. – 106 с.
12. Дидманидзе, О. Н. Основы работоспособности и надежность технических систем / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев. – М. : Учебно-методический центр «Триада», 2020. – 232 с.

Об авторах:

Хакимов Рамиль Тагирович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Автомобили, тракторы и технический сервис», ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», haki7@mail.ru.

Якименко Илья Юрьевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет».

About the authors:

Ramil T. Khakimov, D.Sc. (Engineering), associate professor, Head of the Department «Automobiles, Tractors and Technical Service», St. Petersburg State Agrarian University, haki7@mail.ru.

Ilya U. Yakimenko, postgraduate student, St. Petersburg State Agrarian University.

АНАЛИЗ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ И УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ТРАКТОРОВ ЗАРУБЕЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В. Я. Гольцяпин¹, И. Г. Голубев¹, Н. Н. Пуляев²

¹ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса», р. п. Правдинский, Московская область, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Выполнены анализ и оценка топливной экономичности и углеродного следа зарубежных тракторов сельскохозяйственного назначения по результатам их испытаний Немецким сельскохозяйственным обществом.

Ключевые слова: трактор, испытания, топливо, расход, экономичность, углеродный след.

FUEL EFFICIENCY AND CARBON FOOTPRINT ANALYSIS OF FOREIGN-MADE TRACTORS

V. Ya. Goltypin^a, I. G. Golubev^a, N. N. Pulyaev^b

^aRussian Scientific Research Institute of Information and Technical and Economic Research on Engineering and Technical Support of the Agro-industrial Complex, Pravdinsky district, Moscow Region, Russian Federation

^bRussian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. An analysis and assessment of the fuel efficiency and carbon footprint of foreign agricultural tractors was carried out based on the results of their testing by the German Agricultural Society.

Keywords: tractor, testing, fuel, consumption, efficiency, carbon footprint.

Углеродный след представляет собой объем парниковых газов (включают в себя в основном углекислый газ, метан и закись азота), переведённых в эквивалент углерода, который вырабатывается в результате деятельности человека [1]. Одним из источников углеродного следа в сельском хозяйстве являются продукты сгорания топлива при использовании тракторов и другой мобильной сельскохозяйственной техники. Вредные выбросы не только загрязняют атмосферу, но и осе-

дают в почве, что сказывается на составе и качестве получаемых продуктов питания. Сельское хозяйство России является крупным потребителем дизельного топлива: его ежегодное потребление составляет около 4,2...4,3 млн т [2].

Косвенной оценкой углеродного следа тракторов являются показатели их экономичности, полученные на испытаниях. Значительный объем испытаний тракторов в соответствии со стандартами OECD проводит Немецкое сельскохозяйственное общество (DLG) [3]. Результаты испытаний (более 40 показателей), комментарии к ним и их оценка публикуются в специализированных журналах и на сайте www.dlg-test.de. Кроме стандартных испытаний Немецкое сельскохозяйственное общество проводит также испытания тракторов на экономичность по методике Powermix, когда трактор работает в агрегате с сельскохозяйственными машинами на режимах, наиболее встречающихся при эксплуатации: тяговых тяжелых и средней тяжести (агрегатирование плуга и культиватора); тяговых с использованием ВОМ (ротационная борона и косилка); тяговых с использованием ВОМ и гидросистемы (разбрасыватель органических удобрений и пресс-подборщик). Для имитации этих режимов на бетонной дорожке используют трехосный грузовой автомобиль с электродинамическим тормозом-замедлителем. По значениям трех режимов находится средний показатель удельного расхода топлива.

Анализ результатов таких испытаний 192 тракторов мощностью от 54,6 до 380 кВт девятнадцати тракторостроительных фирм, проведенных в 2006-2023 гг., показал, что полученные по методике Powermix значения удельного расхода топлива находятся в диапазоне 233...357 г/кВт·ч, то есть наилучшее и наихудшее значения экономичности тракторов отличаются в 1,52 раза [4]. На рисунке 1 показаны результаты наиболее экономичных тракторов по этому показателю, а, следовательно, имеющих наименьший углеродный след.

В двадцатку лучших попали тракторы мощностью от 184 до 380 кВт, причем самыми экономичными являются тракторы компании «Fendt» (1050 Vario и 942 Vario) и «John Deere» (8400R e23 и 8R 410).

Рисунок 2 иллюстрирует перечень тракторов с наихудшим значением удельного расхода топлива.

В двадцатку худших попали тракторы мощностью от 54,6 до 136 кВт, причем самый большой удельный расход топлива имеют тракторы компаний «Farmtrac» (675 DT), «Kubota» (M 135GX), «Lindner» (Lintrac 90) и «Landini» (Powerfarm 95).

Рисунок 1 – Двадцать тракторов с наилучшим значением удельного расхода топлива, полученного по методике Powermix, г/кВт·ч (в скобках после марки трактора приведена его мощность в кВт)

Рисунок 2 – Двадцать тракторов с наихудшим значением удельного расхода топлива, полученного по методике Powermix, г/кВт·ч (в скобках после марки трактора приведена его мощность в кВт)

Обработка полученных результатов по этому показателю позволила ранжировать экономичность тракторов по наиболее известным в России изготовителям (таблица 1, рисунок 3).

Таблица 1 – Результаты испытаний тракторов на экономичность по методике Powermix

Компания	Количество испытанных тракторов	Мощность, кВт		Удельный расход топлива, г/кВт·ч	
		диапазон	средняя	диапазон	средний
Fendt	25	74...380	167	233...295	264
New Holland	21	89...276	153	249...304	269
Steyr	12	86...221	131	249...301	269
Case-IH	27	84...305	155	249...301	270
John Deere	27	74,9...302	161	238...311	275
Claas	17	81...308	154	248...334	283
Deutz Fahr	19	75...232	127	261...328	287
Massey Ferguson	15	70...250	119	253...336	293
Valtra	9	93...155	120	261...321	293

Рисунок 3 – Средние значения удельного расхода топлива тракторов различных компаний, испытанных по методике Powermix, г/кВт·ч

Первое место по экономичности занимают тракторы компании «Fendt» со средним значением удельного расхода топлива 264 г/кВт·ч. Второе место по этому показателю делят тракторы компаний «New Holland» и «Steyr» (269 г/кВт·ч). На третьем месте находятся тракторы

компании «Case-IH», среднее значение удельного расхода топлива которых равно 270 г/кВт·ч. Последнее место занимают компании «Valtra» и «Massey Ferguson» с средним значением удельного расхода топлива 293 г/кВт·ч.

Выводы

Приведенные данные результатов испытаний тракторов Немецким сельскохозяйственным обществом могут стать ориентиром отечественным сельхозтоваропроизводителям для оценки, выбора и приобретения тракторов с учетом, наряду с другими показателями технического уровня, их топливной экономичности и углеродного следа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Углеродный след: главный экологический вопрос человечества [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://brucite.plus/articles/uglerodnyj-sled/> (дата обращения: 19.08.2024).
2. Агропромышленный комплекс России в 2021 году. – М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. – 552 с.
3. Гольтяпин, В. Я. Анализ основных показателей технического уровня тракторов по результатам испытаний DLG / В. Я. Гольтяпин // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 5. – С. 50-56.
4. Test report database. Agricultural machinery and equipment [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dlg.org/en/tests/agricultural-technology-and-farm-inputs/test-reports/?unterkategorie=0&p=1&pruefgebiet=1> (дата обращения: 19.08.2024).
5. Дидманидзе, О. Н. Повышение параметрической надежности автомобильных двигателей / О. Н. Дидманидзе, Д. В. Варнаков // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2007. – № 5. – С. 2-7.
6. Математическая модель процесса сгорания и тепловыделения в цилиндре газового двигателя / М. Н. Ерохин, О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Р. Т. Хакимов // Чтения академика В.Н. Болтинского (115 лет со дня рождения) : Сборник статей семинара, Москва, 22-24 января 2019 года / Под редакцией М. Н. Ерохина. – М. : Общество с ограниченной ответственностью «Мегаполис», 2019. – С. 19-28.
7. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024624556 Российская Федерация. «Гибридный сельскохозяйственный трактор малого тягового класса» : № 2024624047 : заявл. 27.09.2024 : опубл. 18.10.2024 / О. Н. Дидманидзе, А. В. Евграфов, В. Л. Чумаков [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева».
8. Дидманидзе, О. Н. Основные направления развития тягово-транспортных средств в АПК / О. Н. Дидманидзе, С. А. Иванов, А. М. Карев // Доклады

ТСХА, Москва, 02-04 декабря 2014 года. Том 1. – М. : Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2016. – С. 180-182.

Об авторах:

Гольяпин Владимир Яковлевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса».

Голубев Иван Григорьевич, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса», i.g.golubev@mail.ru.

Пуляев Николай Николаевич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», pulyaev@rgau-msha.ru.

About the authors:

Vladimir Ya. Golyapin, Cand.Sc. (Engineering), Leading Researcher, Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Research on Engineering and Technical Support for the Agro-Industrial Complex.

Ivan G. Golubev, D.Sc. (Engineering), Professor, Chief Researcher, Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Research on Engineering and Technical Support for the Agro-Industrial Complex, i.g.golubev@mail.ru.

Nikolay N. Pulyaev, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, pulyaev@rgau-msha.ru.

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ УНИВЕРСАЛЬНОЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ

В. А. Шахов, П. Г. Учкин, А. С. Растопчин

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет», г. Оренбург, Российская Федерация

Аннотация. В статье представлена универсальная роботизированная платформа, предназначенная для использования в сельском хозяйстве, работающая как на традиционных ДВС, так и на электроприводе. Рассматриваются потери энергии, которые возникают при выполнении различных сельскохозяйственных операций, предлагается метод расчёта этих потерь. Также описывается система навигации и позиционирования платформы, основанная на использовании GPS и ГИС.

Применение универсальной роботизированной платформы позволяет снизить расходы на ведение сельскохозяйственной деятельности за счёт удешевления конструкции и снижения стоимости технического обслуживания и ремонта.

Ключевые слова: роботизация, автоматизация, сельское хозяйство, энергоэффективность.

SUBSTANTIATION OF THE DESIGN PARAMETERS OF THE UNIVERSAL ROBOTIC PLATFORM

V. A. Shakhov, P. G. Uchkin, A. S. Rostopchin

Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russian Federation

Abstract. The article presents a universal robotic platform designed for use in agriculture, operating both on traditional internal combustion engines and on electric drive. Energy losses that occur during the performance of various agricultural operations are considered, and a method for calculating these losses is proposed. The navigation and positioning system of the platform based on the use of GPS and GIS is also described.

The application of a universal robotic platform allows to reduce the costs of agricultural activities due to cheaper construction and reduced cost of maintenance and repair.

Keywords: robotization, automation, agriculture, energy efficiency.

В настоящее время, наряду с развитием двигателей внутреннего сгорания, широкое распространение получает роботизация и автоматизация процессов производства, что является одним из основных

направлений технологического прогресса XXI века. В связи с этим, инженерное образование сталкивается с новыми реалиями в своем развитии, связанными с расширением знаний основ проектирования современных машин.

Роботизация и автоматизация охватывает почти все аспекты человеческой деятельности, включая сельское хозяйство. Введение робототехники в агропромышленный сектор создает значительные возможности для улучшения эффективности и производительности, снижения издержек на производство сельскохозяйственных товаров, а также для решения проблемы нехватки рабочей силы [1-3].

Оренбургский ГАУ ведет исследования о возможности применения современных машин, силовыми агрегатами которых являются как традиционные ДВС, так и машин на электроприводе.

Одной из таких является, разработанная в Оренбургском ГАУ, универсальная роботизированная платформа (рисунок 1). Конструкция платформы исключает недостатки существующих роботизированных сельскохозяйственных машин. Предложенное техническое решение включает в себя гусеничное шасси, состоящее из двух модулей на гусеничном приводе, рамы, защитного корпуса, блока с тяговой батареей и вспомогательной электронной системы.

Рисунок 1 – Универсальная роботизированная платформа

При разработке универсальной роботизированной платформы учитывались все потери энергии, которые возникают при выполнении различных сельскохозяйственных операций: потери от сил сопротивления деформации грунта; потери на сдвиг грунта в результате пробуксовки; потери на сопротивление качению катков; потери в шарнирах звеньев гусеничного механизма. Учитывая данные потери и конструктивные особенности, связанные с тем, что в гусеницу платформы

интегрирован электродвигатель, передающий вращение через цепную передачу, было получено выражение, по которому рассчитываются потери в движителе универсальной роботизированной платформы:

$$P_{\Pi} = P_{\text{дг}} + P_{\text{сг}} + P_{\text{кк}} + P_{\text{зг}} + P_{\text{тр}} + P_{\text{эд}} + P_{\text{дд}} + P_{\text{из}}, \quad (1)$$

где P_{Π} – общая мощность потерь движителя, Вт;

$P_{\text{дг}}$ – потери на сопротивление деформации почвы, Вт;

$P_{\text{сг}}$ – потери на сопротивление сдвигу почвы, Вт;

$P_{\text{кк}}$ – потери на сопротивление качения катков, Вт;

$P_{\text{зг}}$ – потери на деформацию гусеницы, Вт;

$P_{\text{тр}}$ – потери в трансмиссии, Вт;

$P_{\text{эд}}$ – потери в электродвигателе, Вт;

$P_{\text{дд}}$ – потери в драйвере двигателя, Вт;

$P_{\text{из}}$ – потери источника энергии, Вт.

Таким образом, зная потери мощности в движителе и потребляемую мощность P_z при передвижении по различным типам почвы, при различных уровнях влажности и выполняемых операциях, можно оценить эффективность универсальной роботизированной платформы в виде коэффициента полезного действия (КПД) движителя η_d :

$$\eta_d = 1 - \frac{P_{\Pi}}{P_z}, \quad (2)$$

где P_{Π} – общая мощность потерь движителя, Вт;

P_z – потребляемая мощность, Вт;

η_d – коэффициент полезного действия движителя.

На основании расчетных потерь мощности на качение шасси при дополнительной массе 150 кг, скорости движения 7 км/ч, на мягкой почве составили 486 Вт, из которых 7,2 Вт составляют потери на деформацию грунта, 281,6 Вт – потери на перематывание гусеницы, 178 Вт – потери на качение катков. При этом расчетный коэффициент сопротивления качению составил 0,084...1,107.

Во время теоретических исследований работы универсальной роботизированной платформы установлено, что наибольший вклад в сопротивление движению вносят силы сопротивления перематыванию гусеницы, а именно изгибающие деформации, что составляет до 80 % потерь от общего количества. Для уменьшения этих потерь целесообразно уменьшать ширину гусеницы и количество изгибов.

Роботизированная платформа обладает системой навигации и позиционирования, основанной на использовании технологий глобального позиционирования (GPS) и географических информационных си-

стем (ГИС). Теоретически рассчитано, что максимальный модуль отклонения от траектории на дистанции 500 метров при погрешности инерциальной системы в 5°/час, без использования методов визуальной одометрии для коррекции, составляет 12 сантиметров. Такое отклонение считается приемлемым для большинства случаев применения. Применением разработанного алгоритма автоматического управления удалось снизить ошибку позиционирования на 62 %, так при движении по междурядьям на дистанции 1000 м, максимальная ошибка составила 0,061 м, при допустимой точности в 9 см [4].

За счет снижения величины потребления электроэнергии и затрат на ТО и ремонт, при выполнении весенней/осенней подкормки, химпрополки 1000 га, годовая экономия составляет 213930 руб. Срок окупаемости при внедрении составляет 1,1 года.

Таким образом, применение универсальной роботизированной платформы позволяет значительно снизить расходы на ведение сельскохозяйственной деятельности, за счет удешевления конструкции и снижения стоимости технического обслуживания и ремонта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Растопчин, А. С. Обоснование конструктивно-режимных параметров универсальной роботизированной платформы на электроприводе : специальность 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса : дис. ... канд. техн. наук / Растопчин Александр Сергеевич, 2024. – 149 с.
2. Растопчин, А. С. Теоретическое обоснование возможности применения тягового электропривода в различных видах роботизированных платформ / А. С. Растопчин, В. А. Шахов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 2(106). – С. 130-136.
3. Электропривод универсальной роботизированной платформы / Н. С. Чунихин, А. С. Растопчин, В. А. Шахов [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 6(110). – С. 182-187.
4. Разработка экспериментальной универсальной роботизированной платформы / В. А. Шахов, Е. М. Асманкин, П. Г. Учкин [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2024. – Т. 38, № 11. – С. 82-87. doi: 10.53859/02352451_2024_38_11_0.
5. Дидманидзе, О. Н. Основные направления развития тягово-транспортных средств в АПК / О. Н. Дидманидзе, С. А. Иванов, А. М. Карев // Доклады ТСХА, Москва, 02-04 декабря 2014 года. Том 1. – М. : Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2016. – С. 180-182.

Об авторах:

Шахов Владимир Александрович, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет».

Учкин Павел Григорьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет».

Растопчин Александр Сергеевич, инженер-исследователь, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет».

About the authors:

Vladimir A. Shakhov, D.Sc. (Engineering), professor Vice-Rector for Research, Orenburg State Agrarian University.

Pavel G. Uchkin, Cand.Sc. (Engineering), associate professor of the Department of Technical Service, Orenburg State Agrarian University.

Alexander S. Rostopchin, Research Engineer, Orenburg State Agrarian University.

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ЖИДКИХ СРЕД

В. Н. Андреев, Р. С. Федоткин, В. В. Демичев, Д. М. Дудин

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В работе предложено новое устройство для определения теплопроводности материалов. Принцип работы устройства основан на методе Христиансена. Данная разработка применима для разнообразных материалов, включая как пищевые, так и непищевые жидкие среды. Разработанное устройство позволяет получать информацию о тепловых свойствах материалов, что важно для различных областей науки и техники.

Ключевые слова: теплопроводность, сравнительный метод, установка для определения теплопроводности, метод Христиансена.

DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR DETERMINING THE THERMAL CONDUCTIVITY OF LIQUID MEDIA

V. N. Andreev, R. S. Fedotkin, V. V. Demichev, D. M. Dudin

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper proposes a new device for determining the thermal conductivity of materials. The principle of operation of the device is based on the Christiansen method. This development is applicable to a variety of materials, including both food and non-food liquid media. The developed device allows obtaining information about the thermal properties of materials, which is important for various fields of science and technology.

Keywords: thermal conductivity, comparative method, installation for determining thermal conductivity, Christiansen method

Введение

Теплопроводность – одна из ключевых теплофизических характеристик материалов, играющая важную роль в различных отраслях науки и промышленности. Она определяет способность материала проводить тепло, что имеет значимые последствия для таких сфер, как пищевая отрасль, энергетика, электроника и машиностроение. В современном мире, где эффективное использование ресурсов и опти-

мизация энергетических процессов становятся все более актуальными, необходимость в точном измерении теплопроводности возросла.

Цель работы

Для исследования теплофизических свойств материалов была разработана специализированная экспериментальная установка, которая основана на сравнительном методе Христиансена для оценки теплопроводности [1-3]. Этот метод является весьма эффективным и позволяет получить точные значения теплопроводности в различных материалах, в частности, пищевых и горюче-смазочных материалов.

Методика исследования

В рамках проведенного исследования разработана комплексная методика, которая включает несколько ключевых этапов. Во-первых, осуществлено детальное изучение научно-технической литературы, что позволило обобщить существующие знания о теплофизических свойствах и методах их измерения [4, 5]. Во-вторых, проведен анализ патентной документации и справочных материалов, касающихся приборов и устройств, предназначенных для измерения теплопроводности различных материалов [6, 7].

Результаты исследования

Метод основан на том, что теплопроводность различных материалов может быть сравнена в контрольных условиях. Для этого выбирается стандартный эталонный материал с известными свойствами теплопроводности. Испытуемый образец помещается в те же условия (температура, давление) и через определенное время измеряются параметры, такие как температура на поверхности образца и время, необходимое для достижения равновесия.

Созданное устройство для определения теплопроводности по методу Христиансена имеет широкие сферы применения. Сферы применения устройства весьма обширны: в пищевой промышленности и для горюче-смазочных материалов это важно для научных и системных исследований [4, 5]; при проектировании теплообменных систем и анализе эффективности энергосистем важно знать теплопроводность используемых материалов; в процессе разработки новых химических веществ и реакций важно учитывать теплопроводность для оптимизации процессов теплообмена; исследование биоматериалов, используемых в медицине, также может требовать информации о теплопроводности; при оценке воздействия различных материалов на окружающую среду важно знать их теплофизические свойства, так как это может повлиять

на температурные режимы в экосистемах; для исследования теплофизических характеристик пищевых продуктов; проводить мониторинг качества продукции; оптимизация процессов обработки с учетом теплофизических характеристик продукции.

Рисунок 1 – 3D-модель устройства для определения теплопроводности:
1 – холодильная камера, 2 – нагревательная камера

Устройство работает следующим образом. Во внешний цилиндр из теплоизоляционного SBS пластика помещен цилиндр из PC пластика диаметром 40 мм. На верхней части цилиндра установлена крышка с фиксатором, обеспечивающая герметичность. Между крышкой и внутренним цилиндром расположена резиновая прокладка, предотвращающая протекание. Кювета с образцом помещается на медную пластину толщиной 7...8 мм. Под ней находится эталонный образец из оргстекла толщиной 5 мм. В верхней части цилиндра установлен элемент Пельтье для охлаждения на постоянном токе, с воздушным охлаждением.

В нижней части устройства в нагревательной камере используется никелевая спираль в кварцевой трубке. Температура в камерах регулируется системой на базе микроконтроллера ESP 32 WROOM, тремя термодарами и дисплеем для вывода данных. Количество теплоты Q , кДж от электронагревателя сначала проходит через эталонный образец, затем через исследуемый продукт, фиксируя температуру термодарами на границах материалов.

Рисунок 2 – Схема устройства

1 – электрический теплонагреватель; 2 – теплоизоляционная рубашка; 3 – пластина исследуемого материала; 4 – пластина эталонного материала (эталонная теплопроводность); 5 – крышка с фиксатором для закрепления на коробе; 6 – холодильник; 7 – коробчатая или круглая сборка для шлейфа проводов от датчиков температуры; 8 – провода от датчиков температуры; 9 – датчики температуры (спайи термопар)

$$Q = \frac{t_1 - t'}{R_0} = \frac{t' - t_2}{R_{\text{и}}}$$

где t_1 – температура на горячей стороне эталонного образца, К;
 t' – температура на горячей стороне исследуемого продукта, К;
 t_2 – температура на холодной стороне исследуемого продукта, К;
 R_0 и $R_{\text{и}}$ – тепловые сопротивления соответственно эталонного образца и исследуемого продукта, м² К/Дж.

Исходя из этого теплопроводность определяется по следующей формуле:

$$\chi_{\text{и}} = \frac{h}{t_1 - t'} \cdot \frac{t' - t_2}{t_1 - t'}$$

Устройство может быть использовано для изучения теплофизических свойств пищевых продуктов, для осуществления контроля качества товаров, совершенствования процессов переработки с учетом теплофизических характеристик продукции. Блок управления быстро считывает и фиксирует температурные данные с датчиков, сохраняя их на микро SD-карте для последующего анализа на ПК.

Заключение

В результате проведенной разработки устройства для определения теплопроводности жидких сред был создан эффективный инструмент, который сочетает в себе точность измерений и простоту эксплу-

атации. Будущие исследования могут быть направлены на дальнейшую оптимизацию конструкции устройства. На данное устройство подготовлена заявка на патент РФ на изобретение.

Таким образом, разработанное устройство представляет собой значимый шаг вперед в области измерения теплопроводности жидких сред и может найти свое применение в различных прикладных задачах, способствуя более глубокому пониманию теплофизических свойств жидких сред, применяемых в различных отраслях АПК.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Демичев, В. В. Способ исследования теплопроводности водно-жировых дисперсных сред / В. В. Демичев // Передовые технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции. – М. : Общество с ограниченной ответственностью «Мегаполис», 2022. – С. 277-279.
2. Андреев, В. Н. Метод определения теплофизических свойств водно-жировых продуктов / В. Н. Андреев, А. П. Назарова, Е. О. Ключникова // Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство. – Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2023. – С. 346-349.
3. Андреев, В. Н. Разработка метода определения теплопроводности водно-жировых пищевых сред / В. Н. Андреев, С. А. Бредихин, А. П. Назарова // Безопасность и качество сельскохозяйственного сырья и продовольствия-2022. – М. : Общество с ограниченной ответственностью «Сам Полиграфист», 2022. – С. 407-410.
4. Андреев, В. Н. Исследования процесса производства майонеза непрерывным способом с использованием системного анализа / В. Н. Андреев, В. В. Демичев // Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, 2023. – С. 364-368.
5. Андреев, В. Н. Системные исследования производства маргариновой продукции / В. Н. Андреев, А. Н. Мартеха, В. В. Демичев // Пищевые инновации и биотехнологии. Под общей редакцией А.Ю. Проскурякова. – Кемерово : КГАУ, 2022. – С. 56-57.
6. Березовский, Ю. М. Вискозиметрический гранулометрический анализ в процессах формирования структур пищевых сред / Ю. М. Березовский, В. Н. Андреев. – М. : Издательство «Экон-Информ», 2015. – 115 с.
7. Славянский, А. А. Совершенствование технологии центрифугирования утфелей первой кристаллизации // А. А. Славянский, В. Н. Андреев, А. Р. Сапронов, Ю. Аносов // Международный агропромышленный журнал. – № 3. – 1991. – С. 87-90.
8. Парлюк, Е. П. Оценка снижение эффективности работы теплообменников, функционирующих в составе блочных систем охлаждения / Е. П. Парлюк //

Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта : Сборник научных трудов, посвященный 85-летию кафедры ЭАТиС МАДИ, по материалам 79-й научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, Москва, 26-27 января 2021 года. – М. : Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2021. – С. 291-295.

Об авторах:

Андреев Владимир Николаевич, кандидат технических наук, доцент, преподаватель Технологического колледжа, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», V.andreev@rgau-msha.ru.

Федоткин Роман Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры тракторов и автомобилей, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», fedotkin@rgau-msha.ru.

Демичев Владимир Васильевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», demi4ev.volodymyr@yandex.ru.

Дудин Даниил Максимович, аспирант, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», d.dudin@rgau-msha.ru.

About the authors:

Vladimir N. Andreev, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, Lecturer of College of Technology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, V.andreev@rgau-msha.ru.

Roman S. Fedotkin, Cand.Sc. (Engineering), associate professor of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, fedotkin@rgau-msha.ru.

Vladimir V. Demichev, postgraduate student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, demi4ev.volodymyr@yandex.ru.

Daniil M. Dudin, postgraduate student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, d.dudin@rgau-msha.ru.

ПОДГОТОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ ВНУТРИВУЗОВСКОГО ЧЕМПИОНАТА ПО СТАНДАРТАМ АГЕНТСТВА РАЗВИТИЯ ПРОФЕССИЙ И НАВЫКОВ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

О. П. Андреев

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Рассмотрены этапы введения лицензирования перевозок пассажиров в Российской Федерации. Проведено сравнение содержания Положений, регламентирующих перевозку пассажиров в разные годы. Понятие «автобус». Требования к владельцу лицензии. Категории транспортных средств. Требования к подвижному составу.

Ключевые слова: лицензия, лицензиат, автобусы, пассажиры и иные лица, лицензионные требования и условия, срок действия лицензии, тахограф, ГЛОНАСС, безопасность пассажиров, ответственность.

PREPARATION AND HOLDING OF THE INTRA-UNIVERSITY CHAMPIONSHIP ACCORDING TO THE STANDARDS OF THE AGENCY FOR THE DEVELOPMENT OF PROFESSIONS AND SKILLS FOR ENGINEERING STUDENTS

O. P. Andreev

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. The stages of introduction of passenger transportation licensing in the Russian Federation are considered. The comparison of the content of the Provisions regulating the transportation of passengers in different years is carried out. The concept of "bus". Requirements for the license holder. Categories of vehicles. Requirements for rolling stock.

Keywords: license, licensee, buses, passengers and other persons, license requirements and conditions, license validity period, tachograph, GLONASS, passenger safety, responsibility.

Агентство развития профессий и навыков (АРПН) – это правопреемник международной организации WorldSkills. В 2012 году Россия официально присоединилась к международному движению «WorldSkills International» (WSI) на Генеральной ассамблее

«WorldSkills International» и стала одной из шестидесяти стран, членов этой организации. На территории Российской Федерации инициатором вступления в международное движение и официальным представителем России стал «Центр содействия развитию профессионального образования и сотрудничества».

С 2012 года по 2014 год российским оператором WorldSkills был фонд «Образование – обществу». В ноябре 2012 года был проведён первый региональный чемпионат – Московский открытый чемпионат WorldSkills Russia. С 2013 по 2022 год проведено 10 национальных чемпионатов Worldskills Russia.

В декабре 2022 года на базе Worldskills Russia было образовано Чемпионатное движение по профессиональному мастерству, Worldskills Russia переименовано в движение «Молодые профессионалы». С 2023 по 2024 год проведено 2 национальных чемпионата «Молодые профессионалы».

Проводились отраслевые чемпионаты WorldSkills Russia.

Одной из задач, решаемой WorldSkills Russia, – преобразование существующей системы среднего профессионального образования, внедрение новых экзаменационных стандартов. В 2017 году в некоторых субъектах Российской Федерации государственная итоговая и промежуточная аттестации по программам среднего профессионального образования прошли в форме демонстрационного экзамена по стандартам WorldSkills, который позволяет определить полученные обучающимися навыки в условиях, приближенных к производственным процессам при выполнении практических профессиональных задач.

Агентство развития профессий и навыков создано в 2020 году по поручению Президента Российской Федерации Путина В. В. от 23 ноября 2019 года № Пр-2391. Учредителем Агентства развития профессий и навыков являются Правительство Российской Федерации и «Агентство стратегических инициатив по продвижению новых проектов». С 2022 года оно приняло на себя исполнение функций WorldSkills, развивая собственные мероприятия в прежних направлениях.

Для участия в межвузовском чемпионате АРПН необходимо определить участников-победителей внутривузовских чемпионатов.

Рисунок 1 – Схема конкурсной площадки

В РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева внутривузовский этап проводится для студентов, обучающихся на направлениях подготовки «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» и «Агроинженерия». Студенты этих направлений подготовки получают профессиональные навыки на кафедрах института механики и энергетики имени В. П. Горячкина.

Участие во внутривузовском этапе позволит им подтвердить полученные навыки по компетенциям, указанным в учебных планах соответствующих направлений подготовки.

Этапы подготовки и проведения внутривузовского чемпионата по правилам АРПН для инженерных специальностей: определение главного эксперта, им может быть только сертифицированный эксперт компетенции, заключение договора между ВУЗом и экспертом; подготовка.

Первый этап подготовки включает в себя составление Технического описания компетенции. В техническом описании должны найти отражение общие сведения о спецификации стандартов АРПН, оценочная стратегия и технические особенности оценки, схемы выставления оценок, а также конкурсные задания.

Так как соревнования предполагают работу с узлами и механизмами автомобилей и сельскохозяйственной техники обязательно в техническом описании должны присутствовать требования по охране труда и технике безопасности на чемпионате.

Рисунок 2 – Инфраструктурный лист

Все присутствующие на площадке конкурсанты обязательно одеты в специальный костюм рабочий, защитные очки, обувь с металлическим носком. Эксперты могут вместо специального костюма надеть халат рабочий.

Схема размещения модулей представлена в предлагаемой схеме размещения конкурсной площадки (рисунок 1).

Составляется инфраструктурный лист и указываются материалы, оборудование и инструменты для каждого модуля на площадке (рисунок 2).

Сведения об участвующих в чемпионате вносятся в eSim. Главный эксперт составляет SMP-план. Количество соревновательных дней зависит от числа модулей и количества участников.

Для компетенции «Ремонт и обслуживание легковых автомобилей» организованы 4 модуля:

1. Модуль «А» - система управления двигателем;
2. Модуль «С» - электрические и электронные системы;
3. Модуль «Е» - двигатель (механическая часть);
4. Модуль «D» - коробка передач (механическая часть).

Конкурсное задание готовит главный эксперт площадки. Соревновательные модули готовят эксперты накануне соревнований.

В предсоревновательный день производится регистрация участников, экспертов-наставников. Проводится инструктаж по ТБ и ОТ участников и экспертов, подписание протокола. Для конкурсантов проводится жеребьевка рабочих мест, подготовка рабочих мест, проверка инструмента, ознакомление с рабочими местами, оборудованием и материалами. Тестирование оборудования.

Работа экспертов-наставников на площадке – обучение экспертов на площадке, ознакомление экспертов с конкурсной документацией, внесение 30 % изменений в конкурсное задание. Так же происходит распределение ролей между экспертами, подписание протоколов и импорт критериев в ЦСО, блокировка схемы оценок.

В последний день подводятся итоги чемпионата. Оценка модулей А, С, D, Е, заносятся в ЦСО, осуществляется блокирование оценок. Подписываются экспертами итоговые протоколы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андреев, О. П. Внедрение современных методов без разборной диагностики систем автомобилей в учебный процесс / О. П. Андреев, Т. В. Ивлева // В сборнике: Чтения академика В. Н. Болтинского. – 2020. – С. 188-196.
2. Комплексная диагностика двигателя : учебное пособие / О. П. Андреев, Г. Е. Митягин, О. В. Виноградов, Р. Н. Егоров, В. И. Стафеев, А. Н. Журилин. – М. : ООО «УМЦ «Триада», 2016. – 109 с.
3. Дидманидзе, О. Н. Основы работоспособности и надежность технических систем / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев. – М. : Учебно-методический центр «Триада», 2020. – 232 с.
4. Дидманидзе, О. Н. Основные направления развития тягово-транспортных средств в АПК / О. Н. Дидманидзе, С. А. Иванов, А. М. Карев // Доклады ТСХА, Москва, 02-04 декабря 2014 года. Том 1. – М. : Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2016. – С. 180-182.
5. Дидманидзе, О. Н. Основные направления развития тягово-транспортных средств в АПК / О. Н. Дидманидзе, С. А. Иванов, А. М. Карев // Доклады Тимирязевской сельскохозяйственной академии (см. в книгах). – 2015. – Т. 1, № 287-2. – С. 180-182.
6. Дидманидзе, О. Н. Дополнительные образовательные услуги в подготовке агроинженерных кадров / О. Н. Дидманидзе, А. С. Дорохов // Международный научный журнал. – 2014. – № 2. – С. 111-116.
7. Основы организации технического сервиса в агропромышленном комплексе : Учебник / И. Н. Кравченко, Ю. А. Кузнецов, А. В. Коломейченко [и др.]. – М. : Общество с ограниченной ответственностью «Издательство «КноРус», 2022. – 452 с. – (Бакалавриат и магистратура). – ISBN 978-5-406-08940-8.
8. Работоспособность технических систем : учебник для ВУЗов по изучению дисциплины / С. К. Тойгамбаев, О. Н. Дидманидзе, А. С. Апатенко [и др.]. –

М. : Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, 2022. – 379 с.

Об авторе:

Андреев Олег Петрович, кандидат технических наук, доцент, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», aopmsau@rgau-msha.ru.

About the author:

Oleg P. Andreev, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, aopmsau@rgau-msha.ru.

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ КОЛЕСА ТРАКТОРА С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

А. В. Бижаев, В. Л. Чумаков

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Трактор является одним из основных средств для проведения агротехнических операций в агропромышленном секторе. Его работа обусловлена необходимостью обеспечения максимальной эффективности и минимальной токсичности при проведении технологических операций. Возникновение буксования и паразитной мощности трактора, в том числе и с электроприводом является следствием деформации почвы, движителей, кинематического несоответствия ведущих колёс и жёсткостью трансмиссии. В данной статье рассматривается общая тенденция применения электротракторов в сельском хозяйстве, процесс возникновения нежелательных условий работы движителя, а также предлагается способ их решения при определённом управлении электроприводом.

Ключевые слова: электротрактор, паразитная мощность, кинематическое несоответствие, управление электроприводом, работа ведущего колеса.

FEATURES OF OPERATION OF THE TRACTOR WHEEL WITH ELECTRIC DRIVE

A. V. Bizhaev, V. L. Chumakov

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. The tractor is one of the main means for carrying out agrotechnical operations in the agro-industrial sector. Its work is conditioned by the need to ensure maximum efficiency and minimum toxicity during technological operations. The occurrence of stalling and parasitic tractor power, including with an electric drive, is a consequence of soil deformation, propulsion, kinematic mismatch of the drive wheels and the rigidity of the transmission. This article examines the general trend in the use of electric tractors in agriculture, the process of occurrence of undesirable engine operating conditions, and also suggests a way to solve them with a certain control of the electric drive.

Keywords: electric tractor, parasitic power, kinematic mismatch, electric drive control, drive wheel operation.

Современная тенденция применения тракторов обуславливает повышение эффективности их работы и снижение токсичности отработавших газов, в частности, достигаемое за счёт применения многих методов, связанных с организацией процесса сгорания в ДВС [1, 2]. Современный уровень технологического развития позволяет отказаться от использования ДВС и заменить его электродвигателем [3]. Тракторы с приводом движителя от электродвигателя на текущий момент называются электротракторами [4]. Такие тракторы являются менее токсичными в локальной зоне использования, и могут выполнять работы в помещениях с ограниченной вентиляцией [5]. Также целесообразно использование гибридных тракторов, режимы которых позволяют работать с различным количеством вредных выбросов при разных условиях помещения [6]. Тем не менее основным спектром работ для трактора являются тяговые операции, которые обуславливают необходимость повышения тягово-сцепных свойств колеса с опорной поверхностью и оптимальное распределение мощности ко всем движителям [7]. Для решения проблемы неравномерности буксования по колёсам и циркуляции мощности между опорной поверхностью, движителями и трансмиссией следует использовать индивидуальный привод колёс [8]. Тяговые электродвигатели имеют определённые характеристики, поэтому в зависимости от типа выбранного двигателя тяговая характеристика будет формироваться, исходя из типа привода [9-11]. Нагрузка электропривода определяется внешним моментом сопротивления движителя и током, обеспечиваемым электрическим накопителем энергии. Определив ток на электропривод, система может вычислять нагрузку на колесо, а при фиксации характера вращения колеса можно установить его динамические характеристики [12]. Полученные параметры можно использовать для системы управления индивидуальным приводом колеса. Для оптимального распределения крутящего момента на ведущих колёсах трактора требуется знать реальное буксование. Однако, зная параметры динамического состояния колеса, становится возможным определение агрофона опорной поверхности и выявления характеристики буксования трактора, при которой трактор работает в текущий момент [13]. Таким образом, можно выстроить структуру алгоритма управления электроприводом колёса, при которой оно будет удерживаться системой в оптимальном рабочем режиме (рисунок 1).

Рисунок 1 – Структура управления колеса трактора с электроприводом

В конечном итоге работу такого трактора можно оценивать по специальным показателям, характеризующим удельные денежные затраты по отношению к реализованной энергии [14-15]. Переход тракторов на электропривод также даст другие возможности для повышения эффективности его работы, например, рекуперация энергии, реализуемой в том числе за счёт источников временного хранения электрического заряда, таких как ионисторы [16]. Эти аспекты открывают возможность реализации электротракторов в качестве основной рабочей единицы в сельскохозяйственном секторе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исследование биодизельного топлива с добавками пальмового масла и перекиси водорода / П. П. Ощепков, И. А. Заев, С. В. Смирнов, А. В. Бижаев // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2019. – Т. 13, № 3. – С. 48-53. – DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-3-48-53.
2. Devyanin, S. N. Influence of Method of Adding Water to Combustible Mixture on Diesel Engine Performance / S. N. Devyanin, A. V. Bigaev, V. A. Markov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Tomsk, 04-06 декабря 2017 года. Vol. 327. – Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 022024. – DOI 10.1088/1757-899X/327/2/022024.
3. Бижаев, А. В. Оценка параметров работы трактора с электроприводом / А. В. Бижаев, В. Л. Чумаков // Чтения академика В. Н. Болтинского : сборник статей, Москва, 25-26 января 2022 года. Том Часть 1. – М. : Общество с ограниченной ответственностью «Сам Полиграфист», 2022. – С. 173-182.

4. Бижаев, А. В. Исследование параметров трактора с электроприводным силовым агрегатом / А. В. Бижаев // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2020. – Т. 14, № 4. – С. 33-42. – DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-4-33-42.
5. Бижаев, А. В. Перспективы использования электротракторов малого тягового класса в сельском хозяйстве : монография / А. В. Бижаев. – М. : Российский государственный аграрный университет, 2024. – 40 с. – ISBN 978-5-9675-2054-9.
6. Марков, Ю. А. Перспектива использования трактора с электроприводом / Ю. А. Марков, Е. Э. Карелова, А. В. Бижаев // Промышленность и сельское хозяйство. – 2023. – № 10(63). – С. 23-26.
7. Девянин, С. Н. Анализ буксования ведущего колеса трактора при влиянии комплексного фактора / С. Н. Девянин, А. В. Бижаев // Чтения академика В. Н. Болтинского : семинар, Москва, 20-21 января 2021 года. – М. : Общество с ограниченной ответственностью «Сам Полиграфист», 2021. – С. 300-306.
8. Чумаков, В. Л. Анализ проблемы воздействия паразитной мощности трактора на работу ведущих колёс / В. Л. Чумаков, А. В. Бижаев // Чтения академика В. Н. Болтинского : семинар, Москва, 20-21 января 2021 года. – М. : Общество с ограниченной ответственностью «Сам Полиграфист», 2021. – С. 307-313.
9. Бижаев, А. В. Проблемы выбора типа привода силового агрегата трактора на электрической тяге / А. В. Бижаев // Чтения академика В. Н. Болтинского : семинар : сборник статей, Москва, 22-24 января 2020 года. – М. : Общество с ограниченной ответственностью «Мегаполис», 2020. – С. 247-252.
10. Application of the Electric Drive of the Power Unit of the Small Traction Tractor / A. V. Bizhaev, V. L. Chumakov, O. P. Andreev [et al.] // The Challenge of Sustainability in Agricultural Systems. – Heidelberg : Springer International Publishing, 2021. – P. 971-979. – DOI 10.1007/978-3-030-72110-7_107.
11. Девянин, С. Н. Особенности тяговых характеристик тракторов с электроприводом / С. Н. Девянин, А. В. Бижаев // Чтения академика В. Н. Болтинского : семинар, Москва, 20-21 января 2021 года. – М. : Общество с ограниченной ответственностью «Сам Полиграфист», 2021. – С. 292-299.
12. Использование индивидуального привода колес трактора посредством электрической тяги / А. В. Бижаев, С. М. Ветрова, А. С. Барчукова, Н. С. Кривых // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2024. – Т. 18, № 2. – С. 78-85. – DOI 10.22314/2073-7599-2024-18-2-78-85.
13. Бижаев, А. В. Моделирование буксования трактора для выбора режима ведущего колеса / А. В. Бижаев // Доклады ТСХА, Москва, 02-04 декабря 2020 года. – ВЫПУСК 293. – Часть III. – М. : Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2021. – С. 169-172.
14. Бижаев, А. В. Энергетические и экономические параметры работы трактора с электроприводом колёс / А. В. Бижаев, С. Н. Девянин, В. Л. Чумаков // Агроинженерия. – 2024. – Т. 26, № 1. – С. 53-58. – DOI 10.26897/2687-1149-2024-1-53-58.
15. Evaluation of energy-economic parameters of tractor with electrically driven power unit / A. V. Bizhaev, S.N. Devyanin, V. L. Chumakov [et al.] // E3S Web of

Conferences : II International Conference on Environmental Technologies and Engineering for Sustainable Development (ETESD-II 2023), Tashkent, 13-15 сентября 2023 года. Vol. 443. – Tashkent: EDP Sciences, 2023. – P. 03004. – DOI 10.1051/e3sconf/202344303004.

16. Bijaev, A. Assessment of the starter motor system use powered by capacitive power sources on internal combustion engine / A. Bijaev, K. Ishutochkina // MATEC Web of Conferences : The VII International Scientific and Practical Conference «Information Technologies and Management of Transport Systems» (ITMTS 2021), Orel, 18-19 мая 2021 года. Vol. 341. – Orel: EDP Sciences, 2021. – P. 00054. – DOI 10.1051/matecconf/202134100054.

Об авторах:

Бижаев Антон Владиславович, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», a.bizhaev@rgau-msha.ru.

Чумаков Валерий Леонидович, кандидат технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», vchumakov@rgau-msha.ru.

About the authors:

Anton V. Bizhaev, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, a.bizhaev@rgau-msha.ru.

Valery L. Chumakov, Cand.Sc. (Engineering), professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, vchumakov@rgau-msha.ru.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ТОПЛИВООБЕСПЕЧЕНИЯ ОБЪЕКТОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Е. А. Варнакова¹, А. Н. Юденичев², И. С. Паршин³

¹ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», г. Ульяновск, Российская Федерация

²ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», г. Москва, Российская Федерация

³ФГБОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В статье анализируются проблемы современной системы топливообеспечения агропромышленного комплекса, включая зависимость от ископаемых видов топлива, логистические издержки и экологические риски. Исследуются перспективные направления развития, направленные на решение этих проблем, в том числе использование биотоплива, развитие локальных производств, оптимизация транспортных сетей и внедрение энергоэффективных технологий.

Ключевые слова: нефтепродукты, топливо, топливообеспечение, хранение, потери, сельскохозяйственная техника, заправка, испарение, предотвращение потерь.

PROSPECTS FOR DEVELOPING THE FUEL SUPPLY SYSTEM FOR AGRO-INDUSTRIAL FACILITIES

E. A. Varnakova^a, A. N. Yudenichev^b, I. S. Parshin^c

^aUlyanovsk State University, Ulyanovsk, Russian Federation

^b25th State Research Institute of Chemmotology of the Ministry of Defense of Russia", Moscow, Russian Federation

^cNational University of Oil and Gas «Gubkin University», Moscow, Russian Federation

Abstract. The article analyzes the problems of the modern fuel supply system for the agro-industrial complex, including dependence on fossil fuels, logistics costs and environmental risks. Promising areas of development aimed at solving these problems are explored, including the use of biofuels, the development of local production, optimization of transport networks and the introduction of energy-efficient technologies.

Keywords: petroleum products, fuel, fuel supply, storage, losses, agricultural machinery, refueling, evaporation, loss prevention.

Учитывая масштабы сельского хозяйства и его значимость для экономики страны, обеспечение топливом объектов агропромышленного комплекса Российской Федерации является сложной и важной задачей [1, 2].

На процесс обеспечения топливом сельскохозяйственных предприятий влияет ряд факторов, формирующих его специфику и цикличность.

К факторам, формирующих специфику топливообеспечения сельскохозяйственных предприятий следует отнести следующие [2, 3].

1. Разнообразие климатических зон. Россия имеет разнообразные климатические условия, что влияет на виды используемого топлива и сезонность потребления.

2. Большие расстояния. Значительные расстояния между сельскохозяйственными предприятиями и поставщиками топлива создают логистические сложности.

3. Развитие сельского хозяйства. Увеличение объемов производства и внедрение новых технологий повышают спрос на топливо.

4. Сезонность. Потребление топлива имеет ярко выраженный сезонный характер, связанный с посевными и уборочными кампаниями.

5. Разнообразие техники, машин и оборудования. АПК РФ использует широкий спектр сельскохозяйственной техники, требующий различных видов топлива.

6. Региональные особенности. Различия в инфраструктуре, уровне развития и специализации регионов влияют на способы обеспечения топливом.

Система обеспечения топливом в агропромышленном комплексе Российской Федерации включает следующие уровни обеспечения:

Федеральный уровень. Регулирование рынка топлива, разработка стандартов и программ поддержки.

Региональный уровень. Организация поставок, формирование резервов топлива, координация работы поставщиков.

Местный уровень. Поставка топлива на конкретные сельскохозяйственные предприятия, хранение, заправка техники.

Проблемы и вызовы обеспечения топливом АПК РФ:

1. *Зависимость от цен на нефть.* Колебания мировых цен на нефть влияют на стоимость топлива для АПК.

2. *Логистические издержки.* Высокие транспортные расходы, особенно в отдаленных регионах.

3. *Недостаток инфраструктуры.* Недостаточное количество современных нефтебаз, АЗС и транспортных сетей.

4. *Сезонные колебания спроса.* Сложности с обеспечением топливом во время пиковых периодов посевной и уборочной кампаний.

Пути решения проблем и перспективы развития:

1. *Диверсификация источников.* Развитие альтернативных видов топлива (биотопливо, электроэнергия, ВИЭ).

2. *Локализация производства.* Создание местных производств биотоплива и других видов топлива.

3. *Оптимизация логистики.* Внедрение современных систем мониторинга транспорта и планирования поставок.

4. *Развитие инфраструктуры.* Строительство новых нефтебаз, автозаправочных станций и транспортных сетей.

5. *Внедрение энергосберегающих технологий.* Применение современных двигателей, систем точного земледелия и др.

Заправка сельскохозяйственной техники в полевых условиях является неотъемлемой частью сельскохозяйственных работ, требующая организации, соблюдения мер безопасности и использования специализированного оборудования.

Необходимость заправки сельскохозяйственной техники в полевых условиях решает следующие задачи:

1. *Увеличение производительности.* Заправка техники непосредственно в поле позволяет избежать простоя техники и повысить производительность работ.

2. *Сокращение времени на транспортировку.* Избегается необходимость транспортировки техники к стационарным АЗС, что экономит время и топливо.

3. *Экономия топлива.* Сокращается расход топлива на холостой ход и перемещение техники до АЗС.

4. *Оптимизация рабочего процесса.* Заправка в поле обеспечивает непрерывность работ и позволяет соблюдать график выполнения задач.

Вместе с тем возникают проблемы связанные с загрязнением топлива, его пролив. Предотвращение загрязнения топлива в процессе заправки в полевых условиях – это важная задача, которая требует соблюдения правил и использования качественного оборудования. Соблюдение чистоты, правильное хранение топлива, использование

фильтров и регулярный контроль качества помогут обеспечить надежную и бесперебойную работу сельскохозяйственной техники и снизить эксплуатационные расходы.

Эксплуатация значительного парка машин требует хранения большого количества топлива, что неизбежно связано с его потерями. Потери нефтепродуктов при хранении приводят к экономическим убыткам, загрязнению окружающей среды и снижению качества продукции [4].

Если рассматривать только потери от испарения, то основным причинам при хранении следует отнести следующие:

1. *Естественное испарение.* Нефтепродукты испаряются с поверхности при контакте с воздухом. Скорость испарения зависит от температуры, давления, площади поверхности и летучести нефтепродукта.

2. *Испарение через дыхательные клапаны.* При колебаниях температуры и давления в резервуарах происходит «дыхание» резервуаров, через которое испаряются легкие фракции.

3. *Испарение при заполнении и опорожнении.* При операциях слива и налива нефтепродукта в резервуар происходит интенсивное испарение.

Для уменьшения потерь от испарения могут быть применены методы предотвращения потерь нефтепродуктов при хранении:

1. *Использование резервуаров с понтонами.* Резервуары с плавающими понтонами снижают площадь зеркала испарения.

2. *Установка газоуравнительных систем.* Системы улавливания паров и их возврата в резервуар.

3. *Окрашивание резервуаров в светлые тона.* Снижение нагрева резервуаров от солнечного света.

4. *Ограничение температуры хранения.* Хранение нефтепродуктов при оптимальных температурах.

5. *Герметизация.* Обеспечение герметичности резервуаров, фланцевых соединений, сальников насосов.

Заключение

Обеспечение топливом объектов агропромышленного комплекса представляет собой многогранную задачу, требующую комплексного подхода. Реализация мер, направленных на диверсификацию источников топлива, развитие альтернативных технологий, оптимизацию ло-

гистики и внедрение современных методов управления, позволит повысить эффективность и устойчивость агропромышленного комплекса Российской Федерации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузьминская, А. М. Современные методы снижения испарения и обеспечения безопасности при хранении нефтепродуктов в резервуарах / А. М. Кузьминская, М. В. Бузаева, О. В. Агеева // Технологии техносферной безопасности. – 2021. – № 4 (94). – С. 65-75.
2. Романцова С. В. Снижение потерь и восстановление качества моторных топлив в АПК / С. В. Романцова // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2015. – № 2. – С. 36-40.
3. Кoryтова Е. В. Повышение экологической безопасности путем применения установки рекуперации паров нефтепродуктов на объекте нефтяной отрасли / Е. В. Кoryтова // Молодой ученый. – 2024. – № 46 (545). – С. 469-472.
4. Полянскова Е. А. Анализ потерь нефтепродуктов при хранении в резервуарах / Е. А. Полянскова, А. А. Горячева, Т. В. Клейменова // Тенденции развития науки и образования. – 2024. – № 114-10. – С. 149-152.
5. Дидманидзе, О. Н. Основные направления развития тягово-транспортных средств в АПК / О. Н. Дидманидзе, С. А. Иванов, А. М. Карев // Доклады ТСХА, Москва, 02-04 декабря 2014 года. Том 1. – М. : Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2016. – С. 180-182.
6. Дидманидзе, О. Н. Основы работоспособности и надежность технических систем / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев. – М. : Учебно-методический центр «Триада», 2020. – 232 с.
7. Основы ресурсосбережения при эксплуатации полевых нефтебаз и нефтескладов / Т. К. Уразгалеев, Н. Н. Пуляев, Ю. С. Коротких, А. Н. Приваленко. – М. : ООО «УМЦ «Триада», 2015. – 174 с.
8. Коваленко, В. П. Нефтепродуктообеспечение в АПК / В. П. Коваленко, Н. Н. Пуляев. – М. : ООО «УМЦ «Триада», 2013. – 100 с.
9. Богданов, В. С. Обеспечение качества топливно-смазочных материалов при хранении - резерв повышения ресурса машин в АПК / В. С. Богданов, Н. Н. Пуляев, Ю. С. Коротких. – М. : Учебно-методический центр «Триада», 2014. – 234 с.

Об авторах:

Варнакова Екатерина Алексеевна, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», tb.kafedra@mail.ru.

Юденичев Андрей Николаевич, младший научный сотрудник, ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России».

Паршин Игорь Сергеевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина».

About the authors:

Ekaterina A. Varnakova, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, Ulyanovsk State University, tb.kafedra@mail.ru.

Andrey N. Yudenichev, Junior Researcher, FAU «25 State Research Institute of Chemical Pathology of the Ministry of Defense of the Russian Federation».

Igor' S. Parshin, Postgraduate Student, National University of Oil and Gas «Gubkin University».

КОНЦЕПЦИЯ МОДУЛЬНОГО ПОСТРОЕНИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН С ГИБРИДНЫМИ СИЛОВЫМИ УСТАНОВКАМИ

Д. В. Варнаков¹, В. В. Варнаков¹, И. С. Паршин²

¹ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», г. Ульяновск, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассмотрены возможности, которые предоставляет модульный принцип построения автотранспортных средств, включая унификацию платформ, интеграцию с новыми технологиями и индивидуализацию транспортных средств. Также рассмотрены требования и ограничения, с которыми столкнется отрасль. Подчеркивается, что модульный подход является перспективным направлением для развития транспорта, поскольку он может способствовать снижению стоимости, повышению гибкости, улучшению ремонтопригодности и экологичности автотранспортных средств.

Ключевые слова: модульный подход, автотранспортные средства, электромобили, унификация, интеграция, индивидуализация, стандартизация, интеграция модулей.

THE CONCEPT OF MODULAR CONSTRUCTION OF VEHICLES AND TECHNOLOGICAL MACHINES WITH HYBRID POWER PLANTS

D. V. Varnakov^a, V. V. Varnakov^a, I. S. Parshin^b

^aUlyanovsk State University, Ulyanovsk, Russian Federation

^bNational University of Oil and Gas «Gubkin University», Moscow, Russian Federation

Abstract. The article examines the opportunities offered by the modular principle of building vehicles, including platform unification, integration with new technologies and vehicle customization. It also examines the requirements and limitations that the industry will face. It is emphasized that the modular approach is a promising direction for the development of transport, since it can help reduce costs, increase flexibility, improve maintainability and environmental friendliness of vehicles.

Keywords: modular approach, motor vehicles, electric vehicles, unification, integration, individualization, standardization, integration of modules.

Увеличение транспортной мобильности людей, тесно связанное с ростом числа автомобилей, является сложным феноменом с многосторонними последствиями. Улучшенная мобильность способствует развитию экономики, облегчая доставку товаров и услуг, расширяя рынки труда и стимулируя туризм. Возможность быстро и удобно перемещаться между городами и регионами создаёт новые возможности для бизнеса и инвестиций. Это особенно важно для жителей сельских районов и отдалённых населённых пунктов. Автомобиль обеспечивает персональную свободу передвижения, позволяя людям планировать свои поездки по собственному усмотрению и с комфортом [1, 2].

Вместе с тем существуют проблемы, связанные с ростом числа автомобилей: перегрузка транспортных сетей, загрязнение окружающей среды, аварийность, необходимость обслуживания разномарочного парка автотранспортных средств.

Одной из главных тенденций развития автомобильного транспорта является увеличение доли гибридных и полностью электрических транспортных средств [1, 3].

Тенденции развития электротранспорта демонстрируют устойчивый и динамичный рост, обусловленный как технологическими достижениями, так и растущими экологическими требованиями, и запросами потребителей. К основным направлениям и тенденциям следует отнести:

1. *Совершенствование аккумуляторных технологий.* Разработка аккумуляторов с более высокой плотностью энергии позволяет увеличивать запас хода электромобилей без увеличения их веса и габаритов. Снижение стоимости аккумуляторных батарей делает электромобили более доступными для широкого круга потребителей.

2. *Развитие зарядной инфраструктуры.* Расширение сети зарядных станций (публичных и частных) является критически важным для обеспечения удобства эксплуатации электромобилей. Внедрение сверхбыстрых зарядных станций, способных заряжать электромобили за 15...30 минут, делает дальние поездки на электромобилях более реалистичными.

3. *Электрификация различных видов транспорта.* Наиболее заметный тренд – увеличение продаж электромобилей и расширение модельного ряда.

4. *Интеллектуализация и автоматизация.* Интеграция электромобилей с технологиями автономного управления для повышения безопасности и удобства эксплуатации.

5. *Развитие экосистемы.* Разработка и внедрение стандартов для зарядных разъемов, протоколов связи и других аспектов. Экосистема сервисного обслуживания. Развитие сети сервисных центров, способных обслуживать электромобили.

6. *Экологичность и устойчивость.* Разработка и внедрение технологий переработки и утилизации использованных аккумуляторных батарей.

Тенденции развития электротранспорта свидетельствуют о том, что он становится все более важной частью транспортной системы будущего. Технологические инновации, экологические требования и растущий интерес потребителей способствуют быстрому развитию этой отрасли. Электротранспорт уже сейчас играет важную роль в снижении загрязнения окружающей среды, и в будущем его значение будет только возрастать [4].

Следующим революционным этапом развития транспорта является концепция модульного построения автотранспортных средств.

Рисунок 1 – Концептуальная схема модульного построения автотранспортных средств

Модульный принцип построения автотранспортных средств может радикально изменить процесс их производства, обслуживания и даже эксплуатации. Этот подход предполагает создание электромобиля из набора стандартизированных, взаимозаменяемых модулей, что открывает целый ряд перспектив:

1. *Снижение стоимости и времени разработки:*

- стандартизация компонентов (использование стандартизированных модулей, таких как аккумуляторные блоки, электромоторы, шасси, блоки управления, позволяет снизить стоимость разработки и производства, так как можно использовать уже проверенные и отлаженные решения);

- ускорение разработки (создание новых моделей электромобилей сводится к комбинации и адаптации уже существующих модулей, что значительно ускоряет процесс разработки и вывода новых моделей на рынок);

- сокращение издержек (модульность позволяет снизить издержки на закупку комплектующих, производство и логистику, за счет масштабирования производства стандартизированных модулей).

2. Увеличение гибкости и разнообразия модельного ряда:

- легкая адаптация (модульная архитектура позволяет легко адаптировать электромобили под различные нужды и требования, менять емкость батареи, мощность двигателя и другие параметры);

- индивидуализация (модульность позволяет предлагать больше вариантов комплектации и персонализации, удовлетворяя индивидуальные предпочтения потребителей);

- разнообразие моделей (производители могут быстро создавать различные нишевые модели на базе единой модульной платформы, снижая риски и инвестиции в разработку каждой отдельной модели).

3. Упрощение производства и обслуживания:

- автоматизация сборки (стандартизированные модули упрощают автоматизацию процесса сборки электромобилей, снижая трудозатраты и повышая эффективность производства);

- быстрый ремонт (в случае поломки достаточно заменить неисправный модуль, а не ремонтировать сложный узел, что значительно ускоряет и упрощает процесс обслуживания и ремонта);

- сокращение времени простоя (быстрая замена модулей позволяет сократить время простоя электромобиля на ремонте, повышая его доступность и надежность);

- обновление компонентов (модульность дает возможность легко заменять устаревшие модули на более современные, например, менять старую аккумуляторную батарею на более емкую, без необходимости замены всего автомобиля).

4. Повышение эффективности и экологичности:

- оптимизация компонентов (модульность позволяет оптимизировать каждый модуль по отдельности, снижая его вес, повышая эффективность и снижая потребление энергии);
- переработка и повторное использование (модульный принцип облегчает переработку и повторное использование компонентов, способствуя более экологичному производству);
- модернизация компонентов (легкая замена модулей позволяет вводить инновационные решения и повышать эффективность электромобиля на протяжении всего его жизненного цикла).

Перспективы модульного подхода:

1. *Унификация платформ*: развитие стандартизированных модульных платформ, которые могут использоваться различными производителями, что приведет к снижению стоимости и ускорению внедрения электромобилей.

2. *Интеграция с другими технологиями*: модульность облегчит интеграцию электромобилей с другими технологиями, такими как автономное управление, интеллектуальные транспортные системы, облачные сервисы.

3. *Индивидуализированный транспорт*: модульный подход может привести к созданию транспорта, полностью адаптированного под индивидуальные потребности каждого пользователя.

Новые требования и ограничения:

1. *Разработка стандартов*: необходима разработка единых стандартов для модулей, что может потребовать усилий со стороны различных производителей и регулирующих органов.

2. *Интеграция модулей*: обеспечение надежной и эффективной интеграции различных модулей в единую систему.

3. *Сложность управления*: управление сложной системой модулей может быть сложной задачей, требующей разработки новых алгоритмов и программного обеспечения.

Заключение

Модульный принцип построения электромобилей – это перспективное направление, которое может привести к снижению стоимости, увеличению гибкости, улучшению ремонтопригодности и повышению экологичности электромобилей. Этот подход открывает новые возможности для производителей, потребителей и для развития всей отрасли электротранспорта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дидманидзе, О. Н. О перспективах развития автомобильного транспорта в агропромышленном комплексе / О. Н. Дидманидзе, А. М. Карев, Г. Е. Митягин // Международный научный журнал. – 2016. – № 1. – С. 53-65.
2. Цифровые технологии в техническом сервисе АПК / М. Н. Ерохин, Д. В. Варнаков, В. В. Варнаков, М. Ю. Карелина // В сборнике: Чтения академика В. Н. Болтинского. – Москва, 2021. – С. 34-43.
3. Унификация технологических процессов ремонта автомобильной техники / О. Н. Дидманидзе, Л. Л. Зиманов, В. И. Карагодин, А. А. Солнцев // Транспортное дело России. – 2024. – № 2. – С. 203-206.
4. Парлюк Е. П. Управление температурным режимом аккумуляторов электромобилей / Е. П. Парлюк, О. Н. Дидманидзе. – М. ООО «Сам Полиграфист», 2024. – 128 с.
5. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024624348 Российская Федерация. Научное обоснование блочно-модульной системы охлаждения : № 2024624050 : заявл. 27.09.2024 : опубл. 14.10.2024 / О. Н. Дидманидзе, О. П. Андреев, А. С. Гузалов [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева».
6. Парлюк, Е. П. Управление разработкой и созданием инженерно-технических систем сельскохозяйственного назначения / Е. П. Парлюк. – М. : Редакция журнала «Механизация и электрификация сельского хозяйства», 2019.
7. Работоспособность технических систем : Учебник для ВУЗов по изучению дисциплины / С. К. Тойгамбаев, О. Н. Дидманидзе, А. С. Апатенко [и др.]. – М. : Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, 2022. – 379 с.
8. Парлюк, Е. П. Оценка теплорассеивающей способности радиаторов блочно-модульной системы / Е. П. Парлюк, А. В. Куриленко // Всероссийская с международным участием научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 155-летию со дня рождения Н.Н. Худякова : Материалы Всероссийской с международным участием научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 155-летию со дня рождения Н.Н. Худякова, Москва, 07-09 июня 2021 года. Том 1. – М. : Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2021. – С. 183-187.

Об авторах:

Варнаков Дмитрий Валерьевич, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», varndm@mail.ru.

Варнаков Валерий Валентинович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», varnval@mail.ru.

Паршин Игорь Сергеевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина».

About the authors:

Dmitry V. Varnakov, D.Sc. (Engineering), associate professor, Ulyanovsk State University, varndm@mail.ru.

Valery V. Varnakov, D.Sc. (Engineering), professor, Ulyanovsk State University, varnval@mail.ru.

Igor' S. Parshin, postgraduate student, National University of Oil and Gas «Gubkin University».

СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АГРЕГАТОВ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Д. В. Варнаков¹, В. В. Варнаков¹, А. Н. Юденичев²

¹ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», г. Ульяновск, Российская Федерация

²ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Рассмотрены вопросы мониторинга технического состояния агрегатов автотранспортных средств, с применением беспроводных систем передачи данных. Представлены основные компоненты системы дистанционного мониторинга технического состояния агрегатов автотранспортных средств, и функциональные возможности системы. Определены преимущества и недостатки системы дистанционного мониторинга технического состояния агрегатов автотранспортных средств

Ключевые слова: мониторинг, автомобильный транспорт, техническое состояние, диагностика, агрегаты, беспроводные сети, передача данных.

REMOTE MONITORING SYSTEMS FOR THE TECHNICAL CONDITION OF MOTOR VEHICLE UNITS

D. V. Varnakov^a, V. V. Varnakov^a, I. S. Parshin^b

^aUlyanovsk State University, Ulyanovsk, Russian Federation

^b25th State Research Institute of Chemmotology of the Ministry of Defense of Russia, Moscow, Russian Federation

Abstract. The article considers the issues of monitoring the technical condition of motor vehicle units using wireless data transmission systems. The main components of the remote monitoring system for the technical condition of motor vehicle units and the functional capabilities of the system are presented. The advantages and disadvantages of the remote monitoring system for the technical condition of motor vehicle units are determined.

Keywords: monitoring, motor transport, technical condition, diagnostics, units, wireless networks, data transmission.

Беспроводные технологии меняют подход к техническому обслуживанию и диагностике автомобилей, обеспечивая гибкий, масштабируемый и экономичный мониторинг состояния агрегатов. Удаленная

диагностика, снижение затрат и быстрое реагирование на потерю работоспособности и прогнозирование динамики технического состояния являются ключевыми преимуществами. Выбор различных беспроводных решений для непрерывной диагностики, базируется на анализе и оценке их потенциала и ограничений при применении в автомобильном секторе [1, 2].

Дистанционный мониторинг технического состояния (ДМТС) агрегатов автотранспортных средств представляет собой процесс непрерывного или периодического сбора, передачи и анализа данных о работе и состоянии ключевых узлов и агрегатов автомобиля, осуществляемый удаленно от самого транспортного средства.

Актуальность непрерывного дистанционного мониторинга технического состояния агрегатов автотранспортных средств обусловлена необходимостью повышения надежности и безопасности. Своевременное выявление неисправностей позволяет предотвратить поломки, аварии и несчастные случаи. Снижение эксплуатационных затрат при внедрении систем непрерывной диагностики возникает в результате уменьшения времени простоя, оптимизации технического обслуживания (ТО) и предотвращения дорогостоящего ремонта. Оптимизация подразумевает переход от регламентного (заблаговременного) к техническому обслуживанию по фактическому состоянию, что позволяет проводить обслуживание только тогда, когда это действительно необходимо, таким образом снижая количество неиспользованного ресурса, при этом не допуская внезапных отказов. Данная стратегия дает возможность централизованного контроля технического состояния большого количества транспортных средств, что особенно важно для крупных автопарков [3, 5].

Удаленный контроль позволяет осуществлять мониторинг состояния техники в режиме реального времени из любой точки мира.

Развитие технологий и разработка новых средств диагностики таких как датчики, беспроводные сети и облачные вычисления, делают системы дистанционного мониторинга технического состояния агрегатов автотранспортных средств доступными и эффективным [4].

Системы дистанционного мониторинга технического состояния агрегатов автотранспортных средств, включают в себя следующие компоненты:

Датчики и средства диагностики технического состояния: температурные, вибрационные, давления, силы тока, уровня жидкостей, датчики износа и др.

Расположение. Устанавливаются на критически важных узлах и агрегатах (двигатель, трансмиссия, тормозная система, подвеска, рулевое управление).

Функции. Измерение параметров работы и состояния агрегатов.

Блоки сбора и обработки данных характеризуются следующими показателями:

Функции. Сбор, первичная обработка (фильтрация, преобразование) и цифровизация данных с датчиков.

Интерфейсы. Соединение с датчиками и системами передачи данных.

Мощность. Достаточная вычислительная мощность для обработки данных в реальном времени.

Система передачи данных имеет следующие характеристики:

Беспроводные технологии: WPAN: Bluetooth, Zigbee (для локальной связи); WLAN: Wi-Fi (для передачи больших объемов данных в пределах локальной сети); WWAN: Сотовые сети (2G/3G/4G/5G), LoRaWAN, NB-IoT (для удаленной передачи данных на большие расстояния).

Протоколы передачи данных: MQTT, HTTP, TCP/IP.

Выбор технологии: зависит от требуемой дальности, скорости, надежности, энергопотребления.

Платформы хранения и анализа данных:

Облачные платформы. Хранение данных в облаке для доступа из любой точки мира.

Базы данных. Организация хранения данных, обеспечение быстрого доступа и обработки.

Аналитические инструменты:

- методы статистического анализа, машинного обучения и искусственного интеллекта для выявления аномалий, прогнозирования неисправностей и оптимизации обслуживания;

- пользовательский интерфейс: веб-интерфейс; мобильное приложение;

- визуализация данных: графики, диаграммы, карты для наглядного представления информации;

- система оповещений: уведомления о неисправностях или отклонениях от нормы.

Функциональные возможности систем дистанционного мониторинга технического состояния агрегатов автотранспортных средств:

- мониторинг в реальном времени (отображение текущих параметров работы агрегатов);
- диагностика (выявление неисправностей и определение их причин);
- прогнозирование (прогнозирование срока службы агрегатов и времени до следующего обслуживания);
- планирование ТО (формирование плана ТО на основе данных о реальном состоянии автомобиля);
- формирование отчетов (создание отчетов о состоянии автопарка и отдельных транспортных средств);
- анализ данных (анализ собранной информации для выявления закономерностей, тенденций и скрытых зависимостей);
- управление автопарком (возможность централизованного управления техническим состоянием большого парка автомобилей).

Преимущества внедрения систем дистанционного мониторинга технического состояния агрегатов автотранспортных средств:

1. Снижение затрат на эксплуатацию, уменьшение времени простоя, оптимизация ТО, предотвращение дорогостоящего ремонта.
2. Увеличение срока службы техники: своевременное выявление неисправностей позволяет продлить срок службы агрегатов.
3. Повышение безопасности: предотвращение внезапных отказов и аварий.
4. Оптимизация управления автопарком: возможность отслеживания состояния и местоположения каждого транспортного средства.
5. Улучшение качества обслуживания: возможность своевременно реагировать на неисправности.

Недостатки внедрения систем дистанционного мониторинга технического состояния агрегатов автотранспортных средств:

1. *Стоимость внедрения.* Высокая стоимость оборудования и программного обеспечения.
2. *Сложность интеграции.* Интеграция с существующими системами и оборудованием.
3. *Безопасность данных.* Обеспечение безопасности передачи и хранения данных.
4. *Надежность связи.* Устойчивость к помехам и обрывам связи.
5. *Обслуживание.* Необходимость квалифицированного персонала для обслуживания системы.
6. *Необходимость стандартизации.* Отсутствие единых стандартов для датчиков, протоколов и платформ.

Перспективы развития систем дистанционного мониторинга технического состояния агрегатов автотранспортных средств:

1. *Развитие технологий.* Новые, более точные, надежные и экономичные датчики.

2. *Использование ИИ и машинного обучения.* Более точное прогнозирование неисправностей и оптимизация обслуживания.

3. *Интеграция с другими системами.* Интеграция с системами управления транспортом, логистическими платформами.

4. *Автоматизация процессов.* Автоматическое формирование отчетов, планирование ТО и управление автопарком.

5. *Развитие стандарта:* Формирование стандартов и протоколов для обмена данными и совместимости оборудования.

Заключение

Применение беспроводных технологий в непрерывной диагностике автотранспорта открывает новые горизонты в сфере технического обслуживания. Беспроводные системы передачи данных обеспечивают гибкость, масштабируемость и экономическую эффективность при мониторинге состояния агрегатов автомобиля. В отличие от проводных аналогов, они позволяют проводить удаленную диагностику, уменьшают затраты и ускоряют реагирование на потенциальные неполадки. Настоящая статья исследует различные беспроводные технологии, оценивая их применимость и ограничения в автомобильной отрасли.

Дистанционный мониторинг технического состояния агрегатов автотранспортных средств является перспективным направлением, которое может значительно повысить эффективность, надежность и безопасность эксплуатации транспортных средств. Развитие технологий и снижение стоимости оборудования делает эту систему все более доступной и востребованной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Канциани, К. Беспроводные датчики ИОТ и проблемы малого времени работы от батарей / К. Канциани // Компоненты и технологии. – 2015. – № 12 (173). – С. 132-135.

2. Дидманидзе, О. Н. О перспективах развития автомобильного транспорта в агропромышленном комплексе / О. Н. Дидманидзе, А. М. Карев, Г. Е. Митягин // Международный научный журнал. – 2016. – № 1. – С. 53-65.

3. Никонова, Е. З. Беспроводные датчики в нефтегазовой отрасли / Е. З. Никонова, А. А. Яковлева // Международный научно-исследовательский журнал. – 2020. – № 6-1 (96). – С. 121-126.

4. Патент на полезную модель № 223207 U1 Российская Федерация, МПК G01M 15/10. Устройство непрерывной оценки технического состояния цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания : № 2023128429 : заявл. 02.11.2023 : опубл. 07.02.2024 / Д. В. Варнаков, А. Н. Юденичев, В. В. Варнаков [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет».

5. Цифровые технологии в техническом сервисе АПК / М. Н. Ерохин, Д. В. Варнаков, В. В. Варнаков, М. Ю. Карелина // В сборнике : Чтения академика В. Н. Болтинского. – Москва, 2021. – С. 34-43.

6. Дидманидзе, О. Н. Основы работоспособности и надежность технических систем / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев. – М. : Учебно-методический центр «Триада», 2020. – 232 с.

7. Дидманидзе, О. Н. Основы оптимального проектирования машинно-тракторных агрегатов / О. Н. Дидманидзе, Р. Н. Егоров. – М. : Учебно-методический центр «Триада», 2017. – 230 с.

8. Оценка технического состояния машины по данным ее системы управления / В. И. Трухачев, О. Н. Дидманидзе, С. Н. Девянин, Н. Н. Пуляев // Чтения академика В. Н. Болтинского : семинар, Москва, 20-21 января 2021 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Сам Полиграфист», 2021. – С. 10-19.

Об авторах:

Варнаков Дмитрий Валерьевич, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», varndm@mail.ru.

Варнаков Валерий Валентинович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», varnval@mail.ru.

Юденичев Андрей Николаевич, младший научный сотрудник, ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России».

About the authors:

Dmitry V. Varnakov, D.Sc. (Engineering), associate professor, Ulyanovsk State University, varndm@mail.ru.

Valery V. Varnakov, D.Sc. (Engineering), professor, Ulyanovsk State University, varnval@mail.ru.

Andrey N. Yudenichev, junior researcher, FAU «25 State Research Institute of Chemical Pathology of the Ministry of Defense of the Russian Federation».

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОНСЕРВАЦИОННОГО МАСЛА

С. М. Гайдар

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. С точки зрения обеспечения работоспособного состояния машин, хранение и противокоррозионная защита имеют не меньшее значение, чем её ремонт и техническое обслуживание. Особенно актуальна проблема противокоррозионной защиты отечественных сельскохозяйственных машин. В силу объективных причин (конструкционные решения, технология изготовления, применяемые материалы и т.д.) отечественная техника уступает зарубежным машинам с позиции противокоррозионной защищенности. Это предопределило важность работ в решении многочисленных проблем, связанных с обеспечением необходимого уровня противокоррозионной защиты сельскохозяйственной техники.

Ключевые слова: коррозия, защитные материалы, консервационное масло, ингибитор, сельскохозяйственная техника.

INVESTIGATION OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF PRESERVATIVE OIL

S. M. Gaidar

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. From the point of view of ensuring the working condition of the machines, storage and anti-corrosion protection are no less important than its repair and maintenance. The problem of anti-corrosion protection of domestic agricultural machinery is particularly relevant. Due to objective reasons (structural solutions, manufacturing technology, materials used, etc.), domestic machinery is inferior to foreign machines in terms of corrosion protection. This predetermined the importance of work in solving numerous problems related to ensuring the necessary level of corrosion protection for agricultural machinery.

Keywords: corrosion, protective materials, preservative oil, inhibitor, agricultural machinery.

В настоящее время, несмотря на огромный рост цен на сельскохозяйственную технику, который по заявлениям заводов-производителей связан, в том числе и с улучшением показателей её надежности,

сельскохозяйственные машины не стандартизированы по приспособленности к сохраняемости на стадии проектирования и изготовления, и их коррозионная стойкость не улучшились. По-прежнему основная тяжесть работ по обеспечению противокоррозионной защиты ложится на плечи сельскохозяйственных производителей.

Основное место в структуре системы обеспечения сохраняемости техники занимают консервационные материалы, такие как консервационные и рабоче-консервационные нефтепродукты и специальные пленочные покрытия, содержащие маслорастворимые ингибиторы коррозии (МИК).

При изучении защитных свойств ингибиторов и разработке технологий их применения проводят серии испытаний в различных условиях:

- ускоренные лабораторные на образцах в эксикаторах, коррозионной камере и в объеме электролита;
- лабораторно-стендовые (циклические с перепадом температур до 100°C, в агрессивных средах SO₂, H₂S и т. д.) на образцах и деталях малых геометрических размеров;
- ускоренные климатические на образцах и деталях в климатической камере;
- натурные климатические на образцах, деталях, сборочных единицах, агрегатах и машинах на климатических испытательных станциях.

Сложность и многофакторность коррозионных процессов определяет и сложность всего цикла исследований и испытаний, связанных с разработкой и внедрением ингибиторов. Практика показывает, что не может существовать одного или нескольких ингибиторов, пригодных для всех случаев. Наоборот, каждый конкретный случай требует применения специального ингибитора, разработанного для данных специфических условий.

Исследуемые составы:

- АЖК 16 % в масле И-20;
- Автокон ЛС;
- Росойл 700;
- Кормин 30 % в масле И-20;
- Кормин 50 % в масле И-20.

Как показали результаты испытаний все исследуемые составы обладают высокой температурой вспышки и могут быть использованы для консервации в условиях предприятий АПК.

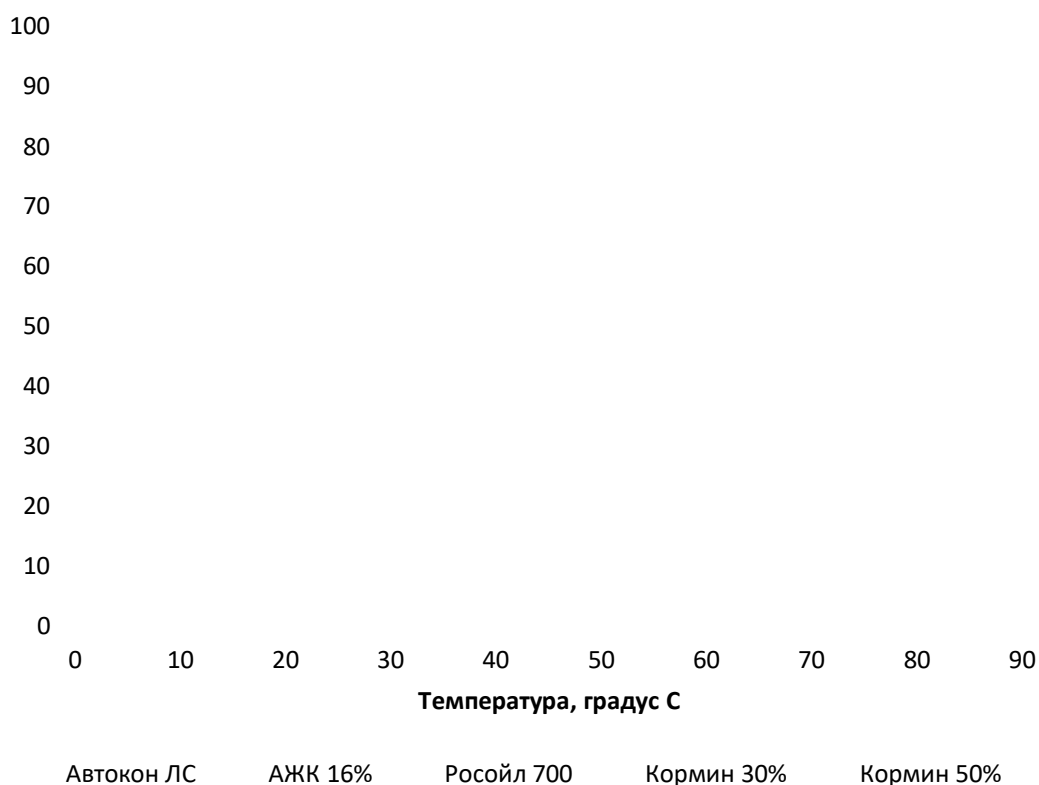


Рисунок 1 – Зависимость вязкости консервационных составов от температуры

Как видно из графика составы Кормин 50 %, Кормин 30 %, Автокон ЛС, АЖК 16 % близки по своим вязкостным характеристикам и имеют высокую вязкость, состав Росойл 700 отличается более низкими вязкостными характеристиками.

Консервационное масло, представляющее собой 16 % раствор ПАВ (амиды жирных кислот), в индустриальном масле И-20 по защитным свойствам превосходит аналоги, представленные на рынке РФ и стран ближайшего зарубежья.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Использование наноматериалов в качестве присадок к маслам для уменьшения трения в трибосопряжениях / С. М. Гайдар, В. Н. Свечников, А. Ю. Усманов, М. И. Иванов // Техника и оборудование для села. – 2013. – № 1. – С. 35-37.
2. Кононенко, А. С. Адгезионная прочность герметиков и нанокомпозиций на их основе / А. С. Кононенко, С. М. Гайдар // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2011. – № 6. – С. 38-42.
3. Гайдар, С. М. Перспективы применения нанотехнологий в двигателестроении / С. М. Гайдар, А. Г. Чумаков // Авиационно-космическая техника и технология. – 2009. – № 10(67). – С. 12-16.

4. Effect of quenching and tempering on structure and mechanical properties of a low-alloy 0.25C steel / E. Tkachev, S. Borisov, A. Belyakov [et al.] // Materials Science and Engineering: A. – 2023. – Vol. 868. – P. 144757. – DOI 10.1016/j.msea.2023.144757.

5. Methodology and results of comparative atmospheric tests of experimental conservation composition / A. E. Shlykov, E. B. Mironov, S. M. Gaidar [et al.] // Bio web of conferences : International Scientific-Practical Conference «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources» (FIES 2019), Kazan, 13-14 ноября 2019 года. – EDP Sciences: EDP Sciences, 2020. – P. 00258.

6. Impact of operational factors on environmental safety of internal combustion engines / S. Gaidar, M. Karelina, A. Laguzin, H. D. Quang // Transportation Research Procedia : 14, Saint Petersburg, 21-24 октября 2020 года. – Saint Petersburg, 2020. – P. 136-144. – DOI 10.1016/j.trpro.2020.10.017.

7. Tempering Behavior of Novel Low-Alloy High-Strength Steel / V. Dudko, D. Yuzbekova, S. Gaidar [et al.] // Metals. – 2022. – Vol. 12, No. 12. – P. 2177. – DOI 10.3390/met12122177.

8. Оценка методов подачи спирта в цилиндры дизельного двигателя экспериментальной установкой / С. М. Гайдар, Д. А. Пикин, Я. Д. Павлов [и др.] // Агроинженерия. – 2022. – Т. 24, № 2. – С. 71-75. – DOI 10.26897/2687-1149-2022-2-71-75.

9. Патент на полезную модель № 206682 U1 Российская Федерация, МПК F01M 9/02. Устройство для обогащения масла системы смазки легирующим элементом цветного металла : № 2021115224 : заявл. 27.05.2021 : опубл. 22.09.2021 / С. М. Гайдар, Н. А. Ф. Наджи, В. Е. Коноплев [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева».

10. Прогнозирование фрикционно-износных характеристик трибосистем с использованием физического моделирования контактного взаимодействия подвижных соединений / С. М. Гайдар, А. Б. Лагузин, А. Г. Пастухов, А. М. Пикина // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2021. – № 2(30). – С. 98-107.

Об авторе:

Гайдар Сергей Михайлович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Материаловедение и технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», techmash@rgau-msha.ru.

About the author:

Sergey M. Gaidar, D.Sc. (Engineering), professor, Head of the Department of Materials Science and Technology of Mechanical Engineering at the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, techmash@rgau-msha.ru.

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ ДЛЯ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА И СОКРАЩЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

А. А. Гамов, Н. Н. Пуляев

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Автоматизация управления двигателем становится все более важной задачей в современном агропромышленном комплексе. В условиях постоянно растущих издержек на топливо и строгих экологических требований, необходимо найти эффективные решения для сокращения расхода топлива и уменьшения вредных выбросов в атмосферу. В данной статье будет рассмотрено влияние вредных выбросов в атмосферу и способы автоматизации управления двигателями, которые позволят снизить негативное воздействие на окружающую среду за счет экономии топлива и оптимальных режимов эксплуатации сельхозтехники. Процесс сгорания топлива в двигателе ухудшается, главным образом, из-за плохого качества распыливания топлива форсунками, неправильной установки момента начала подачи, нарушения характеристики впрыска из-за чрезмерного износа прецизионных пар топливного насоса, слишком большой неравномерности подачи топлива в цилиндры, а также износа деталей механизма газораспределения, нарушения герметичности камер сгорания, сильного загрязнения воздухоочистителя и др. Таким образом, техническое состояние и уровень эксплуатации машин определяют не только надежность и ресурсы, но и эксплуатационный расход топлива.

Ключевые слова: машинно-тракторный парк, сельскохозяйственная техника, нефтепродукты, расход топлива, экономия, эксплуатация, потери топлива, режимы эксплуатации сельхозтехники.

AUTOMATION OF ENGINE CONTROL TO SAVE FUEL AND REDUCE HARMFUL EMISSIONS INTO THE ATMOSPHERE IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

A. A. Gamov, N. N. Pulyaev

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. Automation of engine control is becoming an increasingly important task in the modern agro-industrial complex. With ever-increasing fuel costs and strict environmental requirements, it is necessary to find effective solutions to reduce fuel consumption and reduce harmful emissions into the atmosphere. This article will consider

the impact of harmful emissions into the atmosphere and ways to automate engine control, which will reduce the negative impact on the environment by saving fuel and optimal operating modes of agricultural machinery. The process of fuel combustion in the engine deteriorates mainly due to poor quality of fuel atomization by injectors, incorrect setting of the start of injection, violation of injection characteristics due to excessive wear of precision fuel pump pairs, too much uneven fuel supply to the cylinders, as well as wear of valve timing mechanism parts, leak tightness of combustion chambers, heavy pollution air purifier, etc. Thus, the technical condition and level of operation of machines determine not only reliability and resources, but also operating fuel consumption.

Keywords: machine and tractor fleet, agricultural machinery, petroleum products, fuel consumption, economy, operation, fuel losses, operating modes of agricultural machinery.

Введение

Потери нефтепродуктов могут возникать как при эксплуатации машин, так и в процессе транспортировки и хранения. Непроизводительное расходование топлива часто происходит из-за плохой организации работы машинно-тракторного парка, холостых переездов, недостаточного обслуживания и устаревших методов. Последствия этого машин заключаются в снижении мощности и экономичности двигателя с увеличением наработки и отсутствии контроля в управлении двигателем. Чтобы предотвратить потери, необходимо обеспечить своевременное техническое обслуживание техники и выполнять сельскохозяйственные работы согласно агротехническим требованиям. Рациональное агрегатирование машин и сокращение рабочего сопротивления также играют важную роль в экономии горюче-смазочных материалов. Мероприятия по оптимизации процессов могут привести к значительной экономии топлива до 25...30 %.

Наиболее характерны потери топлива при эксплуатации: до 6 % – при снижении мощности и экономичности двигателя с увеличением наработки, до 10 % – при неудовлетворительной организации использования тракторов, холостых переездах, до 5 % – при заправке и до 5 % – при хранении. Их можно предотвращать своевременным, качественным техническим обслуживанием и ремонтом, правильным комплектованием машинно-тракторных агрегатов (МТА) [1].

Основная часть

С увеличением количества обрабатываемых земель, возросла и проблема загрязнения окружающей среды из-за выбросов отработанных газов сельхозтехники. В исследовании Н. И. Джабборова указаны

математические данные, из которых следует, что наибольшее негативное воздействие на окружающую среду происходит при сгорании топлива двигателями тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин [2]. В связи с развитием Индустрии 4.0 появилась возможность автоматизации большинства процессов. Например, автоматизация управления МТА позволит уменьшить человеческий фактор в области эксплуатации техники. Таким образом, оптимальное управление (режимы работы) можно доверить автоматизированным системам, которые будут вычислять входные параметры (подачу топлива, состояние форсунок) в зависимости от поставленной задачи и выходных параметров.

Система управления трактором включает в себя следующие подсистемы:

- управление двигателем: регулирование мощности, частоты вращения, запуск, остановка;
- управление трансмиссией: включение и выключение трансмиссии, выбор направления движения, выбор передаточного числа, включение и выключение ведущих мостов, блокировка и разблокировка дифференциала;
- управление движением трактора: рулевое и тормозное управление;
- управление навесной системой;
- управление системой отбора мощности;
- управление агрегируемой машиной;
- управление внешним и внутренним оборудованием (освещением, вентиляцией, кондиционированием).

Исходя из результатов в статье Квашина В. П., можно сделать вывод, что больше всего топлива можно сэкономить при правильной эксплуатации трактора и уменьшении простоя или холостых перегонов. Таким образом, самой эффективной системой управления является система управления двигателем. Чтобы сократить расход топлива, рекомендуется корректировать работу форсунок топливной системы, избегать агрессивной езды и поддерживать трактор и навесное оборудование в исправном состоянии.

Двигатель тракторов, комбайнов работает экономично только при условии полного сгорания топлива. Основные показатели, характеризующие состояние топливной аппаратуры и влияющие на перерасход топлива, мощностные параметры дизелей тракторов: угол опере-

жения подачи топлива в цилиндры двигателя, степень неравномерности подачи топлива, давление впрыска и качество распыления топлива, пропускная способность фильтров и другие [3].

Рисунок 1 – Схема факторов, определяющих эффективность МТА

К социально-кадровым факторам относятся:

- наличие кадрового потенциала механизаторов и ИТР в АПК;
- стаж работы механизаторов и их квалификация.

Из технико-эксплуатационных факторов первостепенное значение имеют:

- техническое состояние трактора и агрегируемой машины;
- рациональный состав МТА;
- использование средств контроля за работой МТА и выбор оптимального эксплуатационного режима.

Топливная экономичность машинно-тракторного агрегата во многом зависит от технического состояния и степени загрузки двигателя. Загрузка определяется составом агрегата и режимами работы трактора. Оптимальным считается режим, при котором дизельный двигатель загружен по мощности на 85...95 % [4].

В настоящее время оптимальный режим загрузки двигателя традиционно устанавливают, ориентируясь на частоту вращения по тахометру, дымности выхлопа, слуху и т.п. Ориентация на загрузку двигателя по слуху, дымности выхлопа является субъективной. Установление загрузки двигателя по показаниям тахометра не позволяет получить информацию ввиду того, что в условиях эксплуатации имеют место большие колебания момента сил сопротивления и частоты вращения коленчатого вала. Как показывают исследования, надежным ориентиром может служить всережимный сигнализатор загрузки, информирующий водителя световыми сигналами о работе двигателя в зоне оптимальной экономичности на номинальном и скоростном режимах.

Экономичность двигателя оценивают по параметру, называемому удельным расходом топлива, обозначающему массовый расход, приходящийся на единицу мощности. Его обычно выражают в граммах на лошадиную силу в час (г/э. л. с. ч) [5].

Согласно нормативной документации изготовителя, потребление топлива при номинальной мощности двигателя достигает 220 г/кВт в час или 162 лошадиные силы в час. Данные приблизительные, так как необходимо принимать во внимание такие факторы, как работа переднего моста, используемая при движении передача, нагрузка, обороты мотора. Усредненный расход топлива трактора составляет 9,5...10 литров.

Чтобы самостоятельно рассчитать, сколько горючего будет расходовать трактор, рекомендуется использовать следующую формулу без учета поправочного коэффициента:

$$P = 0,7 \cdot R \cdot N,$$

где P – потребление горючего за 1 час, кг/час;

0,7 – коэффициент преобразования мощности силовой установки в лошадиные силы из кВт;

R – удельное потребление горючего, г/кВт/час;

N – мощность двигателя, л. с.

В работе Кадухина А. И. описана зависимость расхода топлива в зависимости от оборотов двигателя и положения рейки.

Рисунок 2 – Изменение цикловой подачи в зависимости от вылета рейки ТНВД

Рисунок 3 – Изменение часового расхода топлива в зависимости от оборотов двигателя и положения рейки ТНВД $n_1 < n_2 < n_3 < n_4$

Однако данная работа исключает зависимость расхода от работы форсунок. Предлагаемая в работе автоматизированная система будет иметь следующий алгоритм:

Рисунок 4 – Структурная схема информационной системы

Режимы работы агрегатов принимаются в зависимости от удельного сопротивления и требуемой глубины обработки почвы, а рекомендуемые рабочие скорости движения и энергетические затраты при выполнении сельскохозяйственных работ МТА приводятся в справочниках по эксплуатации [6]. Однако чаще всего данные рекомендации не учитываются при выполнении сельскохозяйственных работ.

Таким образом, система не позволит оператору использовать агрессивную езду, то есть, давать возможность использовать повышенные обороты двигателя. Согласно предыдущим исследованиям, такая система сможет сэкономить около 10 % топлива, а значит и количество вредных выбросов тоже сократится. Учитывая, что 50 % отказов дизелей приходится на топливную аппаратуру, то благодаря управлению ТНВД, можно увеличить и срок службы двигателей [7].

В качестве аппаратного обеспечения рекомендуется использовать ПЛК с набором датчиков:

- датчик ТНВД;
- датчик расхода топлива;
- информационная система для вывода информации и указании работ.

Рисунок 5 – Расположение компонентов на примере трактора «Беларус»

Благодаря полученной информации с датчиков, система сможет контролировать подачу топлива в зависимости от выполняемой работы. Список формул и поправочных коэффициентов уже содержится в ПЛК для выбранного режима работы.

Заключение

Как видно из представленных расчетов, большая часть вредных выбросов связана с неправильной эксплуатацией МТА, что приводит к большому расходу топлива. Автоматизированная система управления двигателем позволит сократить около 10 % количество вредных выбросов. Благодаря руководству по эксплуатации, такая система может легко масштабироваться под разные виды тракторов, т.к. весь расчет производится на основе рекомендаций производителя. Существенным плюсом является возможность внедрения данной автоматизированной системы в различные автоматизированные комплексы, то есть, использование искусственного интеллекта позволит еще более качественно рассчитывать подачу топлива, а благодаря использованию GPS навигации можно исключить холостые перегоны. Планируется, что данная система будет многомодульной, где каждой модуль будет отвечать за свою область автоматизации. Таким образом, взаимосвязанная архитектура позволит еще и увеличить срок эксплуатации МТА.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Квашин, В. П. Рекомендации по экономии электроэнергии в сельскохозяйственной производствe / В. П. Квашин, А. Г. Щербакова, С. В. Захаров // Вестник ОмГАУ. – 2017. – № 4 (28). – С. 222-228.
2. Джаббаров, Н. И. Методика оценки и прогнозирования негативного влияния машинно-тракторных агрегатов на окружающую среду / Н. И. Джаббаров, А. М. Захаров, И. И. Жуйков // АгроЭкоИнженерия. – 2023. – № 2 (115). – С.82-97.
3. Квашин, В. П. Способы экономии топлива в агропромышленном комплексе / В. П. Квашин, А. Г. Щербакова, С. В. Захаров // Вестник ОмГАУ. – 2018. – № 2 (30).
4. Захаров, С. В. Рекомендации для технологического процесса ремонта и эксплуатации сельскохозяйственной техники / С. В. Захаров, В. П. Квашин // Электрон. науч.-метод. журн. Омского ГАУ. – 2016.
5. Ефремов, И. Ф. Метод анализа топливной экономичности поршневых ДВС / И. Ф. Ефремов, Д. Д. Матиевский // Двигателестроение. – 1986. – № 7. – С. 3-6.
6. Якубович, А. И. Экономия топлива на тракторах : монография / А. И. Якубович, Г. М. Кухаренок, В. Е. Тарасенко. – Минск : БИТУ, 2009. – 229 с.
7. Матвеев, В. Ю. Факторы, определяющие работоспособность форсунок / В. Ю. Матвеев, А. В. Щагвин // Вестник НГИЭИ. – 2015.
8. Дидманидзе, О. Н. Основы работоспособности и надежность технических систем / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев. – М. : Учебно-методический центр «Триада», 2020. – 232 с.

9. Энергоэффективность и ресурсосбережение автотракторной техники / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев, Н. А. Большаков // Известия Международной академии аграрного образования. – 2023. – № 67. – С. 38-43.

10. Пуляев, Н. Н. Блочно-модульный принцип агрегатирования машин как один из уровней ресурсосбережения в растениеводстве / Н. Н. Пуляев // Доклады ТСХА, Москва, 03-05 декабря 2019 года. Том Выпуск 292, Часть I. – М. : Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2020. – С. 258-261.

11. Ивлева, Т. В. Методы снижения потерь нефтепродуктов в АПК / Т. В. Ивлева, Н. Н. Пуляев // Наука без границ. – 2020. – № 4(44). – С. 46-54.

Об авторах:

Гамов Артем Алексеевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», art95081@rambler.ru.

Пуляев Николай Николаевич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», pulyaev@rgau-msha.ru.

About the authors:

Artem A. Gamov, postgraduate student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, art95081@rambler.ru.

Nikolay N. Pulyaev, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, pulyaev@rgau-msha.ru.

АНАЛИЗ СТАБИЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ОПОРНЫХ ШЕЕК РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ВАЛОВ

П. В. Голиницкий, У. Ю. Антонова, Э. И. Черкасова

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассмотрен анализ стабильности процесса обработки опорных шеек распределительных валов двигателя ЯМЗ-236 с помощью применения контрольных карт индивидуальных значений и размахов.

Ключевые слова: ремонт, стабильность, шлифование, распределительный вал.

ANALYSIS OF THE STABILITY OF THE MACHINING PROCESS OF CAMSHAFT JOURNALS

P. V. Golinitsky, U. Yu. Antonova, E. I. Cherkasova

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. The article examines the stability analysis of the machining process of the bearing journals of the camshafts of the YaMZ-236 engine using control charts of individual values and ranges.

Keywords: repair, stability, grinding, camshaft.

В настоящее время в Российской Федерации активно развивается отечественное тракторостроение [1-3]. Современные энергонасыщенные тракторы имеют достаточно надежные сборочные единицы и агрегаты, но в любом случае в процессе эксплуатации им необходимы регулярные ремонтные воздействия. В процессе ремонта формируются собственные показатели надежности отремонтированных агрегатов [4, 5].

Особенности ремонтных предприятий, такие как неритмичность производимых работ и их разнообразие, не позволяют использовать подходы конвейерного производства. Сотрудники подобных предприятий, как правило, не закреплены за одной операцией, и являются более универсальными специалистами, что повышает нагрузку и не способствует снижению количества ошибок.

Автотракторный двигатель является сложной системой, на которую приходится до 50 % отказов техники [6, 7]. Одним из основных

элементов двигателей является газораспределительный механизм (ГРМ), именно от его работы зависит развиваемая мощность и экономичность. Центральной частью ГРМ является распределительный вал, синхронизирующий работу клапанов. При работе распределительный вал, как и любой другой механизм, испытывает знакопеременные нагрузки [6, 7], что приводит к износу его трущихся поверхностей [8, 9] и, как следствие, необходимости регулировки клапанов. Несмотря на разработанные компенсаторы в эксплуатации и производстве по настоящее время находятся двигатели, не оснащённые подобными механизмами, например, семейство двигателей ЯМЗ-236.

В рамках совершенствования контрольно-измерительных операций основной задачей является снижение ошибок первого и второго рода (неверно забракованные и неверно принятые) для этого предприятия заменяют аналоговые средства измерения на цифровые, которые обладают лучшими метрологическими характеристиками и дисплеем, снижающим вероятность ошибки оператора [10]. Подключение цифровых средств измерений к единой информационной среде позволит организовать автоматизированный сбор измерительной информации, а также её последующий анализ и, как следствие, принятие верного решения о необходимости проведения ремонта.

Применение данного комплекса технологий приводит к организованному сбору и хранению информации о показателях выпускаемой продукции, что позволяет проводить оценку эффективности процессов. Применив контрольные карты, можно оценить и контролировать стабильность процесса и зафиксировать потерю его управления. Учитывая особенности ремонтных предприятий следует использовать $\bar{X}$ и R карты индивидуальных значений и размахов, которые ориентированы на малое количество одинаковых изделий и сплошной контроль. Контрольные карты для обработанных под первый ремонтный размер опорных шеек распределительных валов двигателя ЯМЗ-236 представлены на рисунке 1.

Анализируя контрольную $\bar{X}$ -карту (рисунок 1а), на которой четыре из пяти последовательных точек расположены в одной зоне односигмовых границ (зоне С) позволяют нам сделать вывод, что на процесс обработки опорных шеек действуют неслучайные причины изменчивости, при этом данный процесс находится в статистически неуправляемом (нестабильном) состоянии (рисунок 1б).

Рисунок 1 – Контрольные карты для обработанных под первый ремонтный размер опорных шеек распределительных валов двигателя ЯМЗ-236:
а – контрольная карта индивидуальных значений; *б* – контрольная карта размахов

Основными причинами возникновения данной ситуации является как недостаточная внимательность персонала, допускающего ошибки при настройке оборудования, носящие случайный характер, так и ошибки технолога при назначении глубины резанья опорных шеек, носящие системный характер.

Устранения первой причины без исключения человека из производственного процесса крайне затруднительно. Вторая, причина вызвана стремлением технолога избежать появления неисправимого брака и, как следствие, перехода ко второму ремонтному размеру. Для назначения глубины резанья технологи зачастую прибегают к использованию рекомендаций, поскольку расчетные методы более трудоёмки и требуют проведения дополнительных операций при входном контроле. Помимо этого, нередко глубина резанья для обработки всех опорных шеек назначается исходя из показателей самой изношенной шейки, а не индивидуально для каждой. Стоит отметить, что у новых распределительных валов разноразмерность опорных шеек отсутствует, соответственно её не должно быть и у после ремонтных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перспективы развития тракторостроения в России / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев, М. М. Прокофьев // Техника и оборудование для села. – 2023. – № 5(311). – С. 2-7. – DOI 10.33267/2072-9642-2023-5-2-7.
2. Энергообеспечение сельскохозяйственного тракторостроения России / О. Н. Дидманидзе, С. Н. Девянин, Е. П. Парлюк, В. А. Марков // Агроинженерия. – 2021. – № 2(102). – С. 4-8. – DOI 10.26897/2687-1149-2021-2-4-8.
3. Съемная гусеничная ходовая система ведущего моста сельскохозяйственного трактора класса 0,9 / О. Н. Дидманидзе, Р. С. Федоткин, В. А. Крючков, Н. И. Дегтярев // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 12. – С. 142-148. – DOI 10.28983/asj.y2023i12pp142-148.
4. Modernizing Machines to Extend Their Life / I. G. Golubev, N. S. Sevryugina, A. S. Apatenko, A. Yu. Fomin // Russian Engineering Research. – 2023. – Vol. 43, No. 3. – P. 258-263. – DOI 10.3103/s1068798x23040111.
5. Оценка эксплуатационной надежности шестеренных гидронасосов, отремонтированных с применением метода электроискровой обработки / И. Н. Кравченко, С. А. Величко, А. В. Мартынов [и др.] // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2023. – № 3. – С. 40-47. – DOI 10.31857/S0235711923030094.
6. Application of Dimensional Analysis for Calculating the Total Misalignment between a Seal and a Shaft / M. N. Erokhin, O. A. Leonov, N. Z. Shkaruba [et al.] // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2021. – Vol. 50, No. 6. – P. 524-529. – DOI 10.3103/S1052618821060066.
7. Project Assessment of the Reliability of the Joint of a Circulation-Loaded Ring of a Rolling Bearing with a Shaft of Tolerance Class js6 / O. A. Leonov, N. Zh. Shkaruba, Yu. G. Vergazova [et al.] // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2023. – Vol. 52, No. 4. – P. 343-350. – DOI 10.3103/s1052618823040088.
8. Leonov, O. A. Calculation of the maximum functional clearance of a cylindrical joint between a steel shaft and a cast iron sprocket / O. A. Leonov, N. Zh. Shkaruba, Yu. G. Vergazova // CIS Iron and Steel Review. – 2024. – Vol. 27. – P. 108-112. – DOI 10.17580/cisisr.2024.01.17.
9. Calculation of Fit Tolerance with Clearance to Increase Relative Wear Resistance of Joints / O. A. Leonov, N. Zh. Shkaruba, G. N. Temasova [et al.] // Journal of Friction and Wear. – 2023. – Vol. 44, No. 3. – P. 171-177. – DOI 10.3103/S1068366623030054.
10. Digitalization of Fault Detection in Crankshafts / P. V. Golinskii, U. Yu. Antonova, G. N. Temasova [et al.] // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2024. – Vol. 53, No. 3. – P. 263-270. – DOI 10.1134/S1052618824700031.

Об авторах:

Голиницкий Павел Вячеславович, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», gpv@rgau-msha.ru.

Антонова Ульяна Юрьевна, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», uantonova@rgau-msha.ru.

Черкасова Эльмира Исламовна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», e.cherkasova@rgau-msha.ru.

About the authors:

Pavel V. Golitsky, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, gpv@rgau-msha.ru.

Ulyana Yu. Antonova, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, uantonova@rgau-msha.ru.

Elmira I. Cherkasova, Cand.Sc. (Agricultural), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, e.cherkasova@rgau-msha.ru.

ВЛИЯНИЕ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА НА ВОЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ СТРАНЫ

С. Н. Гущин, Э. Н. Халилов, В. В. Карякин, Я. И. Чечельшило

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В статье проведен анализ взаимосвязей между сельским хозяйством и военно-экономической безопасностью, а также влияние сельского хозяйства на военно-экономический потенциал. Установлено важное значение сельского хозяйства для формирования военно-экономического потенциала. Была затронута тема влияния сельского хозяйства на военно-экономический потенциал другой страны в рамках гибридной войны и показаны преимущества, такие как повышение уровня готовности к кризисным ситуациям, улучшение стратегического планирования, стимулирование и укрепление международного сотрудничества, что способствует укреплению мировой стабильности.

Ключевые слова: сельское хозяйство, ресурсы, угрозы, агропромышленный комплекс, продовольственная безопасность, военно-экономический потенциал.

THE IMPACT OF AGRICULTURE ON THE COUNTRY'S MILITARY AND ECONOMIC POTENTIAL

S. N. Gushchin, E. N. Khalilov, V. V. Kariakin, Ya. I. Chechelshilo

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. The article analyzes the interrelationships between agriculture and military-economic security, as well as the impact of agriculture on military-economic potential. The importance of agriculture for the formation of military-economic potential has been established. The topic of the impact of agriculture on the military-economic potential of another country in the framework of a hybrid war was touched upon and advantages were shown, such as increasing the level of crisis preparedness, improving strategic planning, stimulating and strengthening international cooperation, which contributes to strengthening global stability.

Keywords: agriculture, resources, threats, agro-industrial complex, food security, military-economic potential.

Сегодня в мире продолжает существовать угроза войны, которая приносит новые вызовы и угрозы национальным интересам Российской Федерации. Для их защиты страна активно укрепляет свои оборонные возможности, осознавая важность экономики в военном деле.

Экономический потенциал напрямую влияет на военную мощь страны. В Указе президента РФ от 2.07.2021 г. № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» отмечается, что экономический потенциал и эффективность системы обеспечения безопасности имеют решающее значение для национальной безопасности. Мобилизационные возможности экономики становятся ключевыми в условиях угроз.

Обеспечение продовольственной безопасности в последнее время особенно остро стоит перед страной в связи с торгово-экономическим эмбарго, объявленным США России и поддержанным странами Евросоюза из-за присоединения Крыма к России и событий на юго-востоке Украины, которые совершенно не входили в планы США. Это аргумент того, как экономика зависит от политических решений глав государств мировых держав. Вследствие этого Россия установила торгово-экономические связи со странами Юго-Восточной Азии, Латинской Америки, Китаем и другими странами, не связанными обязательствами перед США и Евросоюзом. Девальвация национальной валюты в декабре 2014 года и последующее снижение издержек на производство отечественной продукции по сравнению с импортными аналогами.

Основные угрозы обеспечения продовольственной безопасности:

- превышение пороговой величины импорта;
- низкий уровень платежеспособного спроса населения;
- ценовые диспропорции на продовольственном рынке;
- дефицит квалифицированных кадров;
- неразвитость системы мониторинга и прогнозирования развития агропродовольственного рынка;
- политические угрозы.

Вооруженные силы являются инструментом для решения вооруженных конфликтов, а люди – движущей силой в этом процессе. Граждане Российской Федерации, согласно основному закону – Конституции РФ, обязаны защищать конституционный строй и Отечество.

Одним из важных ресурсов сельского хозяйства являются – трудовые ресурсы, это специалисты и обученные люди, которые работают на земле. В тоже самое время люди, привлекаемые к работе в агропромышленном комплексе (АПК), являются и мобилизационным ресурсом страны, то есть косвенно относятся к министерству обороны и как следствие таких отношений проходят подготовку по определённым во-

енно-учётным специальностям, в чём и проявляется связь между мероприятиями, направленными на повышение продовольственной безопасности в рамках деятельности АПК и обороноспособности в рамках готовности Министерства обороны страны.

Важно рассмотреть людские ресурсы агропромышленного комплекса, которые подразделяются на мобилизационные и трудовые. Мобилизационные ресурсы включают в себя ресурсы, которые подлежат воинской обязанности, а трудовые – это те ресурсы, которые будут работать в АПК и не подлежат мобилизации. Подготовка специалистов по военно-учётным специальностям и управленческие кадры играют ключевую роль в удовлетворении военно-экономических потребностей государства.

В условиях военного времени важно определить порядок формирования, хранения и использования мобилизационных средств и продовольственных запасов, материальных ценностей, которые должны создаваться в мирное время. Организации, независимо от формы собственности, должны вести воинский учет сотрудников и обеспечивать им необходимые условия для исполнения воинской обязанности перед государством.

Главная задача использования мобилизационных ресурсов агропромышленного комплекса в мирное время – подготовка военно-обученных резервов. Трудовые ресурсы АПК представляют собой физические и умственные способности к труду населения, их целью является удовлетворение потребностей общества и военной организации государства в продукции АПК [1]. Для этого необходимо обеспечить достаточное количество квалифицированных специалистов в аграрном секторе. В период угрозы или военных действий, людские ресурсы АПК могут быть перераспределены, часть населения направлена на службу в вооруженные силы или на предприятия оборонной промышленности. Например, во время Великой Отечественной войны сельское население было активно мобилизовано для работы в промышленности и строительстве, также в армию для защиты Отечества. В целом, перераспределение трудовых ресурсов различных отраслей экономики необходимо для обеспечения обороноспособности страны.

Агропромышленный комплекс играет важную роль, от его способности перестроиться на работу в условиях военного времени зависит удовлетворение военно-экономических потребностей государства.

Однако сам агропромышленный комплекс зависит от ресурсов сельскохозяйственного производства, которые способны существенно ограничивать производство сельскохозяйственной продукции.

Ресурсы сельскохозяйственного производства – это ресурсы, которые участвуют в создании сельскохозяйственной продукции, к ним относятся: агроклиматические ресурсы тепла и влаги, почвенно-земельные, растительно-кормовые ресурсы, а также водные ресурсы, используемые для орошения, для водопоя и содержания скота.

Особенности сельского хозяйства заключаются в том, что главным средством и предметом труда является земля. Сельское хозяйство зависит от биологических законов и агроклиматических условий, что определяет сезонность производства и значительные колебания объема продукции от года к году, также земельных ресурсов, которые имеют ограниченность площадей и различаются в качестве и плодородии почв.

Сельское хозяйство состоит из двух основных отраслей:

- растениеводство, которое состоит из земледелия, овощеводства и бахчеводства, плодоводства, садоводства и виноградарства, цветоводства;
- животноводство, которое состоит из скотоводства, свиноводства, овцеводства, птицеводства, пчеловодства.

В связи с вышеуказанными особенностями сельского хозяйства, государство должно всемерно поддерживать и уделять постоянное внимание сельскохозяйственному производству и перерабатывающей промышленности в мирное и военное время, так как без производства сельскохозяйственной продукции невозможно решить задачи по обеспечению продовольственной безопасности страны.

В настоящее время успешно внедряются программы по цифровой экономике в АПК, которые дают значительный рост сельскохозяйственной продукции, экономии производственных ресурсов и дает прогноз на урожай.

В свете решения поставленных задач правительством об обеспечении продовольственной безопасности страны, специалисты разрабатывают различные электронные ресурсы, которые способны оценивать эффективность реализации государственных программ, продовольственную безопасность страны в системе военно-экономической безопасности государства. К таким программам относятся: «Программа оценки вероятности реализации государственных программ в сфере обеспечения оборо-

носпособности и безопасности государства», «Программа оценки продовольственной безопасности в системе военно-экономической безопасности государства», «Программа оценки эффективности инвестиционных проектов» и т. д. [4, 5, 6]

Таблица 1 – Комплексный подход к оценке рисков реализации государственных программ

Наименование	Вероят-	Степень	Меры управления рисками
Недостаточный уровень координации и финансирования основных мероприятий	Средняя	Высокая	Мониторинг целевых показателей; регламентация взаимодействия основных исполнителей мероприятий; своевременная корректировка программных мероприятий и целевых показателей в зависимости от достигнутого состояния
Ухудшение основных мероприятий в стране и регионе	Средняя	Средняя	Разработка и внедрение предложений по усилению мер поддержки инвестиционной деятельности во взаимодействии с органами государственной власти региона, местного самоуправления, общественными и профессиональными организациями и объединениями предпринимателей
Снижение актуальности мероприятий, программы	Средняя	Средняя	Ежегодный анализ эффективности мероприятий программы; перераспределение средств между мероприятиями программы
Нехватка или недостаточная квалификация кадровых ресурсов для реализации инвестиционных проектов	Высокая	Средняя	Создание благоприятных условий для привлечения высококвалифицированного персонала для реализации проекта
Форс-мажорные обстоятельства, в том числе природно-климатические, экологические бедствия	Низкая	Высокая	Соблюдение инженерно-технических мероприятий ГО и мероприятий по предупреждению ЧС, страхование

Разработанные программы позволяют провести ранжирование государственных программ и определить наиболее эффективную из

них, тем самым существенно повысить эффективность расходования бюджетных средств и ресурсов; выявить узкие места в системе обеспечения продовольственной безопасности с учетом специфики норм продовольственного обеспечения в гражданской и военной сферах; проводить изучение и давать оценку эффективности инвестиционных проектов, воплощаемых в жизнь.

В настоящее время, в сложившейся политической обстановке в мире, в условия санкций, развитие современного агропромышленного комплекса на всех уровнях управления экономикой рассматривается в контексте политики импортозамещения, объявленной российским правительством. Заместить импорт – не значит заменить одних поставщиков другими. Основной смысл импортозамещения – помочь отечественной промышленности и сельскому хозяйству, в т. ч. пищевой и перерабатывающей промышленности, выйти со своей произведенной продукцией на мировой рынок и быть конкурентоспособной и экономически независимой [7].

Продукция сельского хозяйства серьезно влияет на военно-экономический потенциал страны, так как без достаточного количества «хлеба» невозможно решать задачи в чрезвычайных ситуациях.

Значение земельных ресурсов для агропромышленного производства определяет успешность урожайности и прибыльности продукции. В мирное время основные действия в этой области направлены на удовлетворение военно-экономических потребностей государства. Это включает точный учет земельных участков, проведение землеустройства с учетом региональных особенностей и другие мероприятия. Целью таких усилий является производство сельскохозяйственной продукции, необходимой для обеспечения питания и сырья для военных и гражданских нужд страны, даже в условиях потери территории. В период угрозы или военных действий функции земельных ресурсов могут измениться, например, для обеспечения нужд военной организации государства, а также могут использоваться различные материальные ресурсы агропромышленного комплекса, такие как сырье, материалы, топливо и другие. В мирное время происходит накопление и модернизация материально-технической базы для обеспечения потребностей военной организации в чрезвычайных обстоятельствах. Необходимо, также рационально размещать производственные ресурсы и запасы для обеспечения необходимого объема производства на территории страны. В период угрозы или военных действий эти задачи становятся еще более актуальными, производственные мощности подвергаются

мобилизационному учету. Главная цель всех этих мероприятий – обеспечить военную организацию материальными ресурсами, включая мобилизационные запасы, для успешного ведения военных действий [2].

Военно-экономические потребности могут привести к перераспределению материальных ресурсов сельскохозяйственного сектора в пользу оборонно-промышленного комплекса. Примером такой ситуации может служить прекращение поставок сельскохозяйственной техники для удовлетворения нужд сельскохозяйственного производства в период военных действий. Военное время требует использования материально-технической базы для обеспечения военных операций, включая подготовку запасов и восстановление потерь вооружения. Для этого могут быть проведены различные мероприятия, такие как изъятие сельскохозяйственной техники для использования в армии или других отраслях экономики. Производственные мощности и оборудование предприятий АПК также могут быть переориентированы на выпуск товаров военного назначения, таких как танки, оружие, продуктовые пайки. В целом, все эти мероприятия направлены на обеспечение военной организации необходимыми ресурсами для успешного выполнения поставленных задач.

Для удовлетворения потребностей военной организации государства в период угрозы и военных действий агропромышленный комплекс может изменить свой ассортимент продукции, например, увеличив производство долговечных и транспортабельных продуктов. Любое действие по сохранению сельскохозяйственной продукции представляет собой, ни что иное как, процесс консервирования. Весь процесс производства продуктов питания можно рассматривать как систему технологических операций, направленных на сохранение основных составных частей сырья (животного, растительного происхождения), все технологии, вольно или невольно, преследуют данную цель. Процессы консервирования находятся в основе получения сухих продуктов путем удаления свободной воды (ксероанабиоз), стерилизованных консервов (абиоз), продуктов длительного хранения, консервированных путем введения сахарозы, соли (осмоанабиоз) [8].

Существует следующее определение процесса удовлетворения военно-экономических потребностей: «...совокупность последовательных мероприятий, осуществляемых органами государственной власти в целях удовлетворения экономических нужд, необходимых для материального и информационного обеспечения вооруженной защиты государ-

ства, защиты его национальных интересов в конкретных условиях военно-политической обстановки и социально-экономического развития» [9]. Материальные ресурсы этой отрасли играют важную роль в обеспечении военно-экономических потребностей. Современные военные конфликты требуют эффективного управления ресурсами, включая информационные базы данных, для обеспечения военной организации необходимыми ресурсами. Информационные ресурсы агропромышленного комплекса помогают в планировании перемещения войск и обеспечении их потребностей. Они также важны для мобилизационной подготовки и обеспечения населения продовольствием и другими товарами в период мобилизации и военных действий [2].

Также сельское хозяйство тесно связано с военными действиями, такими как Гибридные войны. Они представляют собой новую форму конфликтов, которая сочетает в себе элементы традиционной военной борьбы и нестандартные методы воздействия.

В результате таких войн стороны используют не только военные силы, но и информационные, экономические и политические инструменты для достижения своих целей. К нашей теме относятся такие способы ведения боевых действий, как отравление почв, ввоз на территорию другой страны культур-вредителей и т. д., что позволяет уменьшить количество урожая и привести к экономическим проблемам. Сокращение численности населения и генная инженерия в сельском хозяйстве, очевидно, являлись частью общей стратегии: значительного сокращения народонаселения на планете [3].

Человечество столкнулось с проблемой безопасности продовольствия. Кроме того, использование ГМО-растений может нанести ущерб и окружающей среде. Переопыление ГМО-растений и традиционных растений способно привести к сокращению биоразнообразия агроценоза и генетическому загрязнению природы.

Существует версия, что Пентагон именовал это биологической войной, пропагандируемой под лозунгом «решения проблемы голода в мире» [5, с. 325]. Выведено противозачаточное зерно, способствующее производить женскому организму антитела, повреждающие сперму, а также спермицидная кукуруза, делающая мужскую сперму стерильной.

Продовольственная безопасность — составная и важнейшая часть национальной безопасности, ибо обеспечивает устойчивое производство основных продуктов питания и их доступность населению. Обеспечение продовольственной безопасности способствует устойчивому

социальному климату в обществе. При отсутствии необходимых запасов и резервов в регионах может возникнуть недовольство населения, что позволяет считать продовольственную проблему важнейшим структурным элементом, обеспечивающим национальную безопасность страны [3].

Рисунок 1 – Продовольственная безопасность страны в системе военно-экономической безопасности государства

Она состоит из нескольких частей. Можно выделить элементы продовольственной безопасности: физическая доступность достаточной в количественном отношении, безопасной и питательной пищи; экономическая доступность к продовольствию должного объема и качества для всех социальных групп населения; автономность и экономическая самостоятельность национальной продовольственной системы (продовольственная независимость); надежность, то есть способность национальной продовольственной системы минимизировать влияние сезонных, погодных и иных колебаний на снабжение продовольствием населения всех регионов страны; устойчивость, означающая, что национальная продовольственная система развивается в режиме расширенного производства.

В современных военных конфликтах информационное воздействие на население противника становится все более важным. Поэтому необходимо принимать меры по предотвращению распространения негативной информации и устранению ее последствий, даже в мирное время. Для этого следует использовать различные средства информационного обеспечения, которые позволят доставлять достоверную информацию до производителей и потребителей продукции сельскохозяйственных товаропроизводителей.

Среди таких средств можно выделить специализированные радио- и телевизионные каналы, ИПТВ-закрытые кабельные сети, которые вещают на сельские территории, а также организаторов, разработчиков интернет-сайтов и справочно-консультационную службу агропромышленного комплекса [4]. Таким образом, агропромышленный комплекс в современных условиях играет не только ключевую роль в национальной экономике России, но также является важным инструментом обеспечения как общенациональной безопасности, так и военно-экономической безопасности, в частности.

Надежная защита Российской Федерации зависит от полноценного развития ресурсной базы агропромышленного комплекса, ведь от него зависит повышение числа рабочих мест; рост объемов производства; увеличение площади посевных площадей; повышение конкурентоспособности производимой продукции и перерабатываемого сырья; рост финансовой устойчивости предприятий-производителей; наращивание объемов экспорта производимой продукции и создание экспортно-ориентированной товаропроводящей инфраструктуры; инфраструктурное преобразование сельских территорий и улучшение качества жизни населения, проживающего на этой территории [3].

Значимость агропромышленного комплекса в экономике страны и каждого конкретного региона трудно переоценить. Приведем экономические факторы, которые свидетельствуют о развитии агропромышленного комплекса на территории страны и отдельного региона: наличие свободных земельных ресурсов; высокая обеспеченность сельскохозяйственными угодьями, в том числе пашнями; наблюдающийся стабильный рост объемов производства зерна; возрастающий спрос на продукцию сельского хозяйства; формирующиеся в различных регионах новые рынки сбыта, вызывающие рост объемов внутреннего потребления сельскохозяйственной продукции и многое другое. Все это увеличивает уровень жизни людей и положение страны на мировой сцене.

Структура государственного регулирования агропромышленного комплекса – это целая система законодательно-правовых и организационно-экономических воздействий государственных органов управления разных уровней, осуществляющих согласование механизмов внутрихозяйственного управления и рыночной конкуренции с целью обеспечения эффективного функционирования и развития различных сфер АПК [9].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вартанова, М. Л. Стратегия развития агропромышленного комплекса России – основа экономической безопасности страны / М. Л. Вартанова // Проблемы и основные направления повышения эффективности функционирования АПК региона в условиях глобализации и импортозамещения : Монография (научное издание) / Под общей редакцией О.А. Столяровой, Р.Р. Юняевой. – Пенза : Пензенский государственный аграрный университет, 2023. – С. 36-56.
2. Юматов, М. С. Оценка вероятности достижения целевых показателей государственных программ в области обороны / М. С. Юматов, А. Ю. Фомин // Вестник МГЭИ (on line). – 2022. – № 1. – С. 157-167. – DOI 10.37691/2619-0265-2022-0-1-157-167.
3. Боткин, О. И. Условия продовольственной безопасности в гибридных войнах / О. И. Боткин, А. И. Сутыгина // Вестник Удмуртского университета. Серия Экономика и право. – 2019. – Т. 29, № 3. – С. 323-328.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024616756 Российская Федерация. Программа оценки продовольственной безопасности в системе военно-экономической безопасности государства : № 2024615175 : заявл. 13.03.2024 : опубли. 25.03.2024 / М. С. Юматов, М. А. Бабешин, А. А. Ахмеев, А. Ю. Фомин ; заявитель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военный университет имени князя Александра Невского» Министерства обороны Российской Федерации.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022662765 Российская Федерация. Программа оценки вероятности реализации государственных программ в сфере обеспечения обороноспособности и безопасности государства : № 2022661344 : заявл. 21.06.2022 : опубли. 07.07.2022 / М. С. Юматов, А. Ю. Фомин, Е. А. Евдокимова [и др.] ; заявитель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военный университет имени князя Александра Невского» Министерства обороны Российской Федерации.
6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021619378 Российская Федерация. Программа оценки эффективности инвестиционных проектов (program for evaluating the effectiveness of investment projects) : № 2021618207 : заявл. 25.05.2021 : опубли. 08.06.2021 / М. С. Юматов, Я. Г. Рашин, А. А. Ключин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военный университет» Министерства обороны Российской Федерации.
7. Евдокимова, Е. А. Роль государства в формировании источников финансирования инновационной деятельности промышленных предприятий / Е. А. Евдокимова, А. Ю. Фомин, М. С. Юматов // Вестник университета. – 2022. – № 8. – С. 44-50. – DOI 10.26425/1816-4277-2022-8-44-50.
8. Минаев, П. А. Анализ транзакционных издержек в АПК России / П. А. Минаев, П. А. Кузьмичев, С. Н. Гущин // Наука без границ. – 2021. – № 9-2(61). – С. 72-78.

9. Гушин, С. Н. Психология жертвы как угроза социальной, экономической и политической стабильности / С. Н. Гушин // Национальная безопасность Российской Федерации: новые вызовы и перспективы : Сборник трудов, приуроченных к Всероссийской научно-практической конференции военного учебного центра Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, 09 декабря 2024 года. – М. : Издательство «Научный консультант», 2024. – С. 27-30.

Об авторах:

Гушин Сергей Николаевич, преподаватель военного учебного центра, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», guchinsergei1963@mail.ru.

Халилов Эйнур Николаевич, начальник военного учебного центра, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», halilov@rgau-msha.ru.

Карякин Владимир Владимирович, преподаватель военного учебного центра, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», vladimir144808@yandex.ru.

Чечельшило Ярослав Игоревич, студент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», kowkaska2@gmail.com.

About the authors:

Sergey N. Gushchin, lecturer at the military training center, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, guchinsergei1963@mail.ru.

Einur N. Khalilov, head of the military training center, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, halilov@rgau-msha.ru.

Vladimir V. Kariakin, lecturer at the military training center, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, vladimir144808@yandex.ru.

Yaroslav I. Chechelshilo, student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Kowkaska2@gmail.com.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Р. Н. Дидманидзе, Н. А. Майстренко, Д. Ю. Фролова

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. *Статья посвящена энергетической и стоимостной оценкам эффективности использования машин в транспортно-технологическом процессе. В ней предлагается интегрированный подход, объединяющий материальные и энергетические аспекты, чтобы обеспечить комплексную оценку эффективности работы техники. Этот новый метод, называемый материально-энергетическим, учитывает как экономические показатели, такие как затраты на эксплуатацию и обслуживание машин, так и технические параметры, включая мощность двигателей, расход топлива и производительность оборудования. Для реализации данного подхода были разработаны специальные стратегии, направленные на анализ и подбор оптимального набора технических средств, используемых при транспортировке и внесении удобрений в почву. Эти стратегии позволяют учесть различные факторы, влияющие на эффективность процесса, начиная от особенностей почвы и погодных условий до типа используемого удобрения и расстояния перевозки.*

Одной из ключевых задач было создание алгоритмов, позволяющих выбрать наиболее подходящий комплект техники исходя из конкретных условий эксплуатации. Это включает в себя учет таких параметров, как грузоподъемность транспортных средств, скорость их передвижения, объем бункеров для хранения удобрений, а также энергозатраты на выполнение различных операций.

Кроме того, в рамках предложенного метода рассматриваются различные организационные методы управления процессом транспортировки и внесения удобрений. Они включают планирование маршрутов движения техники, распределение работ между различными видами транспорта, а также контроль за соблюдением сроков выполнения заданий.

Таким образом, предлагаемый подход позволяет не только повысить экономическую эффективность использования техники, но и улучшить качество выполняемых работ, обеспечивая точное и своевременное внесение удобрений в почву. В статье изложена энергетической и стоимостной оценки эффективности машиноиспользования в транспортно-технологическом процессе.

Ключевые слова: *эффективность машиноиспользования, оптимизационные решения, ресурсосбережение технологических процессов, эксплуатационные показатели, стоимостные показатели, эксплуатационные затраты, затраты труда, моделирование технологических процессов.*

IMPROVING THE EFFICIENCY OF TRANSPORT PROCESSES IN AGRICULTURE

R. N. Didmanidze, N. A. Maistrenko, D. Yu. Frolova

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. *The article is devoted to energy and cost estimates of the efficiency of using machines in the transport and technological process. It offers an integrated approach combining material and energy aspects to provide a comprehensive assessment of the efficiency of machinery. This new method, called the material and energy method, takes into account both economic indicators, such as the cost of operating and maintaining machines, and technical parameters, including engine power, fuel consumption and equipment performance.*

To implement this approach, special strategies have been developed aimed at analyzing and selecting the optimal set of technical means used for transporting and applying fertilizers to the soil. These strategies allow you to take into account various factors that affect the effectiveness of the process, ranging from soil characteristics and weather conditions to the type of fertilizer used and the distance of transportation.

One of the key tasks was to create algorithms to select the most suitable set of equipment based on specific operating conditions. This includes taking into account parameters such as the carrying capacity of vehicles, the speed of their movement, the volume of fertilizer storage bins, as well as the energy consumption for performing various operations.

In addition, the proposed method considers various organizational methods for managing the transportation and fertilization process. These include planning the routes of movement of equipment, the distribution of work between different modes of transport, as well as monitoring compliance with deadlines for completing tasks.

Thus, the proposed approach allows not only to increase the economic efficiency of using machinery, but also to improve the quality of work performed, ensuring accurate and timely fertilization of the soil.

The article describes the energy and cost estimates of the efficiency of machine use in the transport and technological process.

Keywords: *efficiency of machine use, optimization solutions, resource saving of technological processes, operational indicators, cost indicators, operating costs, labor costs, modeling of technological processes.*

Известно, что при моделировании оценки эффективности транспортных процессов в сельскохозяйственном производстве применяются в основном два вида оценок. По первому устанавливают степень эффективности энергообмена в каждой из анализируемых технологий со свойственным им комплексом машин. По второму определяется

уровень интенсификации сравниваемых технологий или машин относительно базового технологического комплекса.

В основе поиска резервов ресурсосбережения – исследование рациональности сочетания двух важнейших законов механики и экономики: сохранения, превращение энергии и формирование стоимости.

Исследование энергетического баланса и оптимальной рентабельности обмена потенциала удобрений осуществляется по моделям оценки технологий их внесения.

В первом случае оптимальность оценивается коэффициентом производственной эффективности Z , устанавливающим соотношение между усвоенной (сосредоточенной в удобрении) энергией $\mathcal{E}_y$ и затратной (суммарной по операциям технологии) энергией $\mathcal{E}_c$ на внесение удобрений. При $Z > 1$ анализируемая технология считается обменно-эффективной.

Во втором случае посредством одного из трех методов оценки: энергетического, стоимостного или объединяющего их материально-энергетического рассчитываются показатели целевых функций соответственно: удельные совокупные затраты энергии $\mathcal{E}$; удельные эксплуатационные затраты C ; денежные средства P , приходящиеся на единицу затраченной энергии. Оптимальной технологией считается та, при которой достигается критерий минимума соответствующей целевой функции. Эти методы оценки дают возможность сравнивать предлагаемые варианты технологий (с индексом $i = 1, 2, 3, \dots$) с базовым вариантом (с индексом $- 0$) на основании коэффициентов соответственно энергетической $K_{\mathcal{E}}$, стоимостной K_C , или материально-энергетической K_e эффективности.

Рассчитываются коэффициенты по формулам: $K_{\mathcal{E}} = \mathcal{E}/\mathcal{E}_0$; $K_C = C/C_0$; $K_e = P/P_0$. При снижении ресурсов ($K_{\mathcal{E}}$, K_0 или K_e) > 1 , а при увеличении ($K_{\mathcal{E}}$, K_0 или K_e) < 1 .

Математические модели расчета целевых функций эффективности процессов и машин приводятся в единых сопоставимых единицах по каждому методу оценки с учетом размерности, принятой в типовых нормах выработки и расхода топлива на конкретную работу.

Принципиальная особенность метода в том, что оценочный показатель – затраты энергии на процесс, не подвержен изменению из-за колебания цен на материалы и услуги.

Совокупные затраты энергии $\mathcal{E}$ на выполнение операции включают:

- прямые и овеществленные затраты энергии топлива $\mathcal{E}_T$;

- затраты энергии живого труда $\mathcal{E}_\text{ч}$;
- затраты энергии на изготовление, ремонт и техническое обслуживание (ТОР) средств механизации $\mathcal{E}_\text{м}$.

Численные затраты слагаемых рассчитываются по формулам:

$$\mathcal{E}_\text{т} = a_\text{т} r G_\text{д}, \text{ МДж/т}, \quad (1)$$

где $a_\text{т}$ – совокупность энергетического содержания $a_\text{ст}$ и эквивалента $a_\text{эт}$ топлива, МДж/кг;

r – степень использования основного (при 90 % загрузке) режима работы двигателя;

$G_\text{д}$ – расход топлива при допустимом (на 10 % меньше номинального) режиме работы двигателя, кг/ч;

W – эксплуатационная производительность МТА, т/ч.

$$\mathcal{E}_\text{ч} = a_\text{ч} W, \text{ МДж/т}, \quad (2)$$

где $a_\text{ч}$ – энергетический эквивалент труда оператора, МДж/ч.

$$\mathcal{E}_\text{м} = a_\text{э} + a_\text{р}, \text{ МДж/т} \quad (3)$$

где $a_\text{э}$, $a_\text{р}$ – энергоемкость реновации, ТОР соответственно тяговой и рабочей машины, МДж/ч.

Численные значения $a_\text{э}$ и $a_\text{р}$ рассчитываются на основании нормативной доли затрат, приходящихся на реновацию и ТОР, а также годовой загрузки и полных энергетических затрат на изготовление соответствующих машин.

Показатель $\mathcal{E}$ с учетом (1-3) определяется из равенства

$$\mathcal{E} = a_\text{т} r G_\text{д} + a_\text{ч} + a_\text{э} + a_\text{р}, \text{ МДж/т} \quad (4)$$

Если технологический процесс (технология) включает несколько операций, то суммированием численных значений $\mathcal{E}_j$ по каждой j -ой операции определяются энергозатраты $\mathcal{E}_\text{с} = \sum \mathcal{E}_j$ на использование технологического комплекса.

Оценку базового (с индексом – 0) и предлагаемого (с индексом – $i = 1, 2, 3, \dots$) вариантов как отдельных машин, так и их совокупности – технологического комплекса проводят посредством сравнения частных коэффициентов энергетической эффективности $K_{\mathcal{E}j}$ каждого вида j -х затрат.

Затраты прямой и овеществленной энергии оценивают по $K_{\text{эт}} = \mathcal{E}_{\text{тi}} / \mathcal{E}_{\text{т0}}$. По коэффициентам $K_{\text{эч}} = \mathcal{E}_{\text{чи}} / \mathcal{E}_{\text{ч0}}$ и $K_{\text{эм}} = \mathcal{E}_{\text{ми}} / \mathcal{E}_{\text{м0}}$ сравнивают энергозатраты соответственно живого труда и на изготовление, ТОР средств труда.

Эффективность новой технологии определяют из соотношения $K_{\text{э}} = \mathcal{E}_{\text{и}} / \mathcal{E}_{\text{с0}}$. При этом необходимо убедиться в том, что для установленного объема обменной энергии удобрения $\mathcal{E}_{\text{у}}$ коэффициент производственный эффективности Z_{i} новой технологии будет больше как единицы, так и значения Z_0 для базовой технологии, т.е. соблюдается условие $1 < Z_{\text{i}} = \mathcal{E}_{\text{у}} / \mathcal{E}_{\text{с}} > Z_0$.

При реализации рассматриваемых схем внесения удобрений не отмечается изменение урожая и качества продукции: каждая из технологий дает одинаковую прибавку. В таких случаях для оценки экономической эффективности применения машин и технических комплексов превалирует критерий минимума эксплуатационных денежных затрат.

Отличительная особенность целевой функции – возможность учета изменения сезонных цен на рынках труда и топлива.

Удельные эксплуатационные затраты C на выполнение операции включают:

- затраты на топливо $C_{\text{т}}$;
- оплату труда оператора $C_{\text{ч}}$;
- отчисления на реновацию, ТО и ремонт $C_{\text{м}}$.

Численные значения составляющих определяются из равенств:

$$C_{\text{т}} = r G_{\text{д}} \Pi_{\text{т}}, \text{ руб./т} \quad (5)$$

где $\Pi_{\text{т}}$ – цена топлива, руб./кг.

$$C_{\text{ч}} = S f, \quad (6)$$

где S – часовая тарифная ставка оплаты труда оператора, руб./ч;
 f – коэффициент, учитывающий дополнительные начисления.

$$C_{\text{м}} = \Pi_{\text{э}} a_{\text{э}} Q + \Pi_{\text{р}} a_{\text{р}} Q_{\text{р}}, \text{ руб./т} \quad (7)$$

где $\Pi_{\text{э}}, \Pi_{\text{р}}$ – цена тяговой и рабочей машины, руб.

$Q_{\text{э}}, Q_{\text{р}}$ – полные энергетические затраты на производство (эксплуатацию) тяговой и рабочей машины, МДж. С учетом (5...7) стоимостная характеристика технологической операции определяется из уравнения:

$$C = rG_d C_T + Sf + C_3 a_3 Q + C_p a_p Q, \text{ руб./т.} \quad (8)$$

Раздельная сравнительная стоимостная оценка вариантов применения машин или комплексов, или технологий проводится по аналогии с энергетическим методом по коэффициентам экономической эффективности:

- издержек на топливо ($K_{ст} = C_{ти} / C_{то}$);
- оплаты труда оператора ($K_{сч} = C_{чи} / C_{чо}$);
- отчислений на ТОР и реновацию ($K_{см} = C_{ми} / C_{мо}$);
- суммарных затрат на технологию ($K_c = C_{ci} / C_{co}$). Стоимостный метод применим также для оценки рентабельности P технологии, когда выручка от продажи дополнительного урожая C_y , полученного от применения удобрений, превышает затраты на технологию их внесения $C_c = \sum C_j$.

Показатель C_y рассчитывается на основании рыночной цены единицы продукции C_p , доли прироста d урожайности U от внесения дозой q удобрений из взаимозависимости:

$$C_y = dUC_p, \text{ руб./т} \quad (9)$$

«Выгодность» той или иной технологии внесения удобрений устанавливается по критерию максимума показателя P из целевой функции $P = (C_y - C_c) / C_c$.

При оперативном менеджменте технологическими процессами оценивается эффективность как материальных (денежных), так и энергетических затрат. При этом требуется апеллировать о приемлемости применения в конкретной производственной ситуации одного из двух равнозначных методов оценки. Обычно, только при стабильных ценах, между методами отмечается соответствие. Если имеет место частая диспропорция в оплате труда и топлива, то уместно определять рациональное сочетание между видами затрат материально-энергетическим методом.

В основе метода – корреляция между основными технико-экономическими показателями однотипных машин: энергоемкостью (массой) машин и их стоимостью; энергосодержанием топлива и его ценой; тяжестью условий живого труда и его оплатой. Для практических расчетов достаточно использовать линейные зависимости таких пар показателей. Из соотношения (8) к (4), получены следующие частные составляющие общей стоимости одного МДж:

$$E_{\underset{\text{т}}{\text{т}}} = C_{\underset{\text{т}}{\text{т}}} = \underset{\text{т}}{C_{\text{т}}} = \underset{\text{т}}{C_{\text{т}}} = \underset{\text{т}}{C_{\text{т}}} ; E_{\underset{\text{ч}}{\text{ч}}} = C_{\underset{\text{ч}}{\text{ч}}} = \underset{\text{ч}}{Sf} ; E_{\underset{\text{м}}{\text{м}}} = C_{\underset{\text{м}}{\text{м}}} = \underset{\text{м}}{C_{\text{м}}} = \underset{\text{м}}{C_{\text{м}}} + \underset{\text{м}}{C_{\text{м}}} \quad (10)$$

В общем случае $E = E_{\text{т}} + E_{\text{ч}} + E_{\text{м}}$.

Из анализа их следует, что стоимость единицы энергозатрат не зависит от показателей $W, G_{\text{д}}, r, H_{\text{э}}, H_{\text{р}}, T_{\text{э}}, T_{\text{р}}$, а зависит от $C_{\text{т}}, C_{\text{э}}, C_{\text{р}}, S, f$ при постоянных $a_{\text{т}}, a_{\text{ч}}, Q_{\text{э}}, Q_{\text{р}}$ в соответствии с равенством:

$$E = \underset{\text{т}}{C_{\text{т}}} + \underset{\text{ч}}{Sf} + \underset{\text{э}}{C_{\text{э}}} + \underset{\text{р}}{C_{\text{р}}}, \text{руб./МДж} \quad (11)$$

Сравнительная материально-энергетическая оценка эффективности машин, комплексов, технологий проводится по аналогии с предыдущими методами по коэффициентам эффективности вложений на единицу энергии:

- от топлива $K_{\text{ет}} = E_{\text{ти}} / E_{\text{то}}$;
- от живого труда $K_{\text{сч}} = E_{\text{чи}} / E_{\text{чо}}$;
- для ТОР и реновации $K_{\text{см}} = E_{\text{ми}} / E_{\text{мо}}$;
- для реализации технологии $K_{\text{с}} = E_{\text{си}} / E_{\text{со}}$.

Практическое применение методов оценки иллюстрируется на примере рассмотрения вероятной производственной ситуации по организации внесения удобрений под картофель.

Рассматриваются четыре варианта технологий загрузки, доставки и распределения органических удобрений: прямоточная; перегрузочная; перевалочная; двухфазная.

Для каждой из них в таблице 1 приведены данные по наиболее часто применяемым техническим средствам. Численные значения показателей выбраны из нормативов энергоемкости машин и продукции, а также из типовых норм выработки и расхода топлива.

Расчеты выполнены на основании следующей характеристики условий:

- расстояние транспортирования удобрений до поля 5 км, а от бурта на поле до загона 0,1 км;
- доза внесения q удобрений 40 т/га, обеспечивающая прирост урожая $d = 0,2$;
- изначальная (без удобрений) урожайность картофеля 15 т/га;
- каждая операция выполняется одним оператором;
- энергосодержание и (или) эквиваленты по топливу $a_{\text{т}}$ для трактора 527 МДж/кг, для автомобиля 544 МДж/кг, по труду $a_{\text{ч}}$ для

тракториста 1,3 МДж/ч, для водителя 0,9 МДж/ч, по органическим удобрениям $\mathcal{E}_y$ в год 1400 МДж/Т;

- не учитываются затраты на заделку удобрений в почву (операция из технологии возделывания культуры), на хранилища (отнесены к животноводству);

- заводские стоимостные показатели $\mathcal{C}_3$, $\mathcal{C}_p$ соответствуют 2023 г.;

- тарифные ставки S оплаты труда тракториста (4 разряда) и шофера (6 разряда) составляют 270,5 и 330,2 руб./ч;

- цена топлива $\mathcal{C}_T$ для дизеля 49 руб./кг, а для карбюраторного двигателя 52 руб./кг;

- цена реализации $\mathcal{C}_n$ картофеля 25000 тыс. руб./т.

Задача заключается в том, чтобы определить оптимальную технологию, в большей мере отвечающую совокупности оценочных критериев эффективности, а не только одному из них.

С этой целью по соответствующим формулам выполнены расчеты показателей. Результаты расчетов представлены в таблице 2, а сравнительная оценка различных технологий в таблице 3.

Таблица 1 – Энергетические, стоимостные, эксплуатационные показатели технических средств для внесения удобрений

0	Погрузка у хранилища	МТЗ-82	292	54	460	50	0,02	13	0,8
		ПЭ-0,8Б	180	73	170				
	Прямоточная					10	0,10	27	0,7
	Транспортирование и распределе-	Т-150К	651	137	1040				
1		ПРТ-10	300	207	160	16	0,06	13	0,8
	Перегрузочная								
	Транспортирование и перегрузка	ГЛЗ-САЗ-3502	346	64	350	8	0,13	16	0,3
	Распределение	МТЗ-82	292	54	460				
		РОУ-6	150	105	150				

		Перевалочная							
2	Транспортирование и перегрузка в кучи	МТЗ-82	292	54	460	8	0,13	13	0,6
		2ПТС-6	222	70	120				
	Распределение	ДТ-75М	519	119	680	140	0,01	14	0,6
		РУН-15Б	161	111	150				
		Двухфазная							
3	Транспортирование	Т-150К	651	137	1040	12	0,08	27	0,6
		ММЗ-7716	239	98	130				
	Формирование бурта	ДТ-75М	519	119	680	160	0,01	14	0,07
		ПФП-1,2	134	43	100				
	Погрузка у бурта	ДТ-75М	519	119	680	100	0,01	14	0,8
		ПФП-1,2	134	43	100				
	Транспортирование и распределение	МТЗ-82	292	54	460	16	0,06	13	0,7
		РОУ-6	150	105	150				

Таблица 2 – Результаты расчета энергетических и стоимостных показателей по видам затрат

Численные значения показателей:

Индекс технологий	по топливу			по труду оператора			по реновации и ТОР		
	Э _т ,	С _т ,	Е _т ,	Э _ч ,	С _ч ,	Е _ч ,	Э _м ,	С _м ,	Е _м
	МДж/т	руб./т	руб./МДж	МДж/т	руб./т	руб./МДж	МДж/т	руб./т	руб./МДж
0	1096	336	6	1,6	42	550	372	357	47
1	769	287	11	2,2	84	1030	205	293	61
2	645	199	9	1,2	55	825	197	203	69
3	1202	368	15	3,4	70	1375	367	497	114

Таблица 3 – Сравнительная оценка реализации различных технологий

Индекс технологий	Суммарные затраты (по видам)			Коэффициенты эффективности					
	Э _с , МДж/Т	С _с , руб./т	Е _с , руб./МДж	Z	K _э	K _с	K _е	K _з	P
0	1470	735	603	10	1	1	1	1	71
1	976	664	1101	14	0,7	0,9	1,8	1,8	81
2	843	456	903	17	0,6	0,6	1,5	1,3	122
3	1572	935	1504	9	1,1	1,3	2,5	1,5	54

С учетом отмеченных обстоятельств приводятся результаты анализа о приемлемости каждого метода оценки технологий и о приоритете одного из них.

Полезность процесса внесения удобрений (рентабельности P) рассчитана относительно уровня выручки в 1800 руб./т от дополнительного урожая картофеля. При необходимости можно исчислять энергетические и экономические показатели в размерности относительно объемов обработанной площади, для чего табличные значения показателей следует умножить на дозу внесения удобрений (по условию $U = 40$ т/га. При калькуляции работ по каждой технологии учитывалась операция «Погрузка удобрений (у хранилища)», как изначально одинаковая для всех. Однако, при сравнительной оценке технологий и комплекса машин по коэффициентам K_z , K_3 , K_c , K_e подобные операции можно не учитывать при условии, что они выполняются однотипными машинами.

Особо следует отметить идентичность энергетического и стоимостного метода: они дают одинаковые уровни оценок. Материально-энергетический метод несколько по-другому в отличие от них характеризует эффективность каждой технологии, констатируя тем самым специфику такой оценки. Несоответствие вызвано различными темпами изменения в основном: цен машин в зависимости от их энергоемкости; отчислений на реновацию и ТОР в зависимости от годовой загрузки машин; цен на виды топлива в зависимости от их энергосодержания; оплаты труда шофера и тракториста в зависимости от энергоэквивалента их труда.

Так прямоточная обеспечит минимумы эксплуатационных денежных K_c издержек и трудозатрат K_z . Для перевалочной технологии они больше соответственно на 50 и 33 %. Двухфазная уместна при малом количестве машин и механизаторов в хозяйстве, когда невозможно за кратковременный период выполнить значительные объемы грузоперемещений. В случае, если разделить эту технологию на две стадии и рассчитывать каждую из них как прямоточную, то они по критериям эффективности будут тождественны прямоточной. Такое разделение необходимо, если требуется длительное время для улучшения качества и повышения энергосодержания удобрений, соответствующего состава (компост, перегной, смеси) непосредственно на поле в буртах.

Следует отметить, что предлагаемые методы анализа технологий, комплексов, звеньев машин не учитывают другие важные агрономические, технические и экономические обстоятельства: начало, темп и продолжительность работы, количество, сочетание и структура средств механизации, эксплуатационную надежность, размеры финансирования процесса. Учитываются они в других более сложных методах математического моделирования технологических процессов, относящихся к инженерному менеджменту.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Моделирование и оптимизация технологических процессов в растениеводстве / А. Н. Скороходов, А. Г. Левшин, В. П. Уваров, Р. Н. Дидманидзе. – М. : РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2019. – 168 с.
2. Васильев, Д. И. Оптимизация транспортных потоков в сельском хозяйстве / Д. И. Васильев. – М. : Колос, 2021.
3. Скороходов, А. Н. Проектирование технологических процессов в растениеводстве / А. Н. Скороходов, А. А. Зангиев, В. П. Уваров. – М. : ФГОУ ВПО МГАУ, 2003.
4. Левшин, А. Г. Транспортное обеспечение производственных процессов / А. Г. Левшин, А. Ю. Измайлов, Н. Е. Евтюшенков. – М. : ФГОУ ВПО МГАУ, 2007. – 160 с.
5. Энергетический анализ технических процессов в сельскохозяйственном производстве. – М. : ГНУ ВИМ, 1995. – 126 с. – ISBN 5-94600-077-1.
6. Дидманидзе, О. Н. Основы работоспособности и надежность технических систем / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев. – М. : Учебно-методический центр «Триада», 2020. – 232 с.
7. Дидманидзе, О. Н. Проектирование производственных процессов в растениеводстве с использованием компьютерных технологий / О. Н. Дидманидзе, О. П. Андреев, А. Н. Журилин. – М. : ООО «УМЦ «Триада», 2018. – 150 с.
8. Автомобильные перевозки / О. Н. Дидманидзе, А. А. Солнцев, А. М. Карев [и др.]. – М. : Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2018. – 554 с. – ISBN 978-5-7367-1436-0.
9. Парлюк, Е. П. Основы логистики / Е. П. Парлюк. – М. : ООО «УМЦ «Триада», 2016. – 105 с.
10. Планирование автотранспортных перевозок в сельском хозяйстве / Ю. Н. Ризаева, В. Л. Пильщиков, Ю. С. Коротких, Н. Н. Пуляев. – М.: ООО «УМЦ «Триада», 2018. – 70 с.

Об авторах:

Дидманидзе Ремзи Назирович, кандидат экономических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», rdidmanidze@rgau-msha.ru.

Майстренко Николай Александрович, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», nmaystrenko@rgau-msha.ru.

Фролова Дарья Юрьевна, ассистент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», dfrolova@rgau-msha.ru.

About the authors:

Remzi N. Didmanidze, Cand.Sc. (Economics), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, rdidmanidze@rgau-msha.ru.

Nikolay A. Mystrenko, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, nmaystrenko@rgau-msha.ru.

Darya Yu. Frolova, assistant, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, dfrolova@rgau-msha.ru.

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ БПЛА АЛЬБАТРОС М5 И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

В. В. Егоров, В. Е. Вильховой

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассмотрены аспекты эксплуатации беспилотного летательного аппарата Альбатрос М5, касающиеся вопросов маршрутизации и аэрофотосъёмки. Показано, что данный аппарат по своим лётным характеристикам хорошо подходит для аэрофотосъёмки полей, однако, применяемая фотокамера не позволяет получать мультиспектральные изображения, требуемые для вычисления вегетационного индекса NDVI. Предложены пути решения данной проблемы: использование индексов, использующих изображение видимого спектра, в том числе с анализом при помощи нейросетей, либо попытки адаптации мультиспектральных камер применительно к данному БПЛА.

Ключевые слова: аэрофотосъёмка, ортофотоплан, беспилотный летательный аппарат, сельское хозяйство.

OPERATIONAL EXPERIENCE OF THE ALBATROS M5 UAV AND PROSPECTS FOR ITS USE IN AGRICULTURE

V. V. Egorov, V. E. Vilkhova

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. The article considers the aspects of operation of Albatros M5 unmanned airplane related to routing and aerial photography issues. It is shown that AM5 is well suited for aerial photography of fields based on its flight characteristics; however, the camera used does is not able to obtain multispectral images required to calculate the NDVI (vegetation index). Ways to solve this problem are proposed: the use of indexes using visible spectrum images (including their analysis by neural networks), or attempts to adapt multispectral cameras applicable to this aircraft.

Keywords: aerial photography, orthophoto, unmanned airplane, agriculture.

Введение

В соответствии с приказами Первого проректора – проректора по учебной работе РГАУ-МСХА № 271 и № 272 от 22.11.2024 авторы статьи были направлены в командировку в ООО Альбатрос (РФ, РТ, г. Елабуга) для прохождения обучения по программе «Теоретическая

и практическая подготовка оператора по управлению беспилотным комплексом» сроком с 24.11.24 по 08.12.24 г.

В настоящей статье показаны описание конструкции и особенностей эксплуатации беспилотного летательного аппарата (БПЛА) Альбатрос М5, краткие рассуждения по аэрофотосъёмке для нужд сельского хозяйства, а также выводы и рекомендации, основанные на полученном в ходе обучения опыте.

Конструкция и эксплуатация БПЛА Альбатрос М5

Альбатрос М5 (рисунок 1) является самым крупным БПЛА, выпускаемым компанией Альбатрос. Основные характеристики приведены в таблице 1.

Рисунок 1 – БПЛА Альбатрос М5 на стенде предполётной подготовки

Управление данным БПЛА осуществляется с НСУ – наземной станции управления, состоящей из ноутбука с программным обеспечением Albatros GS, к которому подключена антенна для связи с ЛА. В «гражданской» версии данная антенна является ненаправленной, но тем не менее область устойчивой связи с бортом зависит от угла её установки относительно ЛА.

В управлении Альбатрос М5 участвуют два человека: оператор и техник. В обязанности оператора входит построение оптимального

маршрута полёта, контроль показателей телеметрии и правильной работы автопилота. Техник работает непосредственно с БПЛА, проводя предполётную подготовку, взлёт, корректировку режимов полёта и посадки. Сборка борта и укладка парашюта производятся совместно.

Таблица 1 – Основные характеристики БПЛА Альбатрос М5

Тип БПЛА	Самолёт: летающее крыло
Размах крыла, м	3,3
Двигатель	Тянущий, электрический, 2 кВт
Система позиционирования	спутниковая и инерциальная
Макс. время полёта	4,5 ч
Макс. площадь аэрофотосъёмки за один полёт, км ²	20
Крейсерская скорость, км/ч	76
Диапазон рабочих высот, м	80...1000
Макс. взлётная масса, кг	15
Габариты площадки для взлёта/посадки, м	от 100х100
Устойчивость к ветру, м/с	15 у земли, 19 в воздухе
Диапазон эксплуатационных температур, °С	–30...50
Время развёртывания, мин	20...40
Ресурс корпуса, циклов	300

Для взлёта используется эластичная либо пневматическая катапульта, поскольку тяговооружённость Альбатрос М5 слишком низка для самостоятельного взлёта. Помимо того, безопасный взлёт гарантируется лишь при встречном ветре, для запуска в штиль требуется высокая квалификация техника.

В полёте БПЛА контролируется автопилотом, работающим по указанию оператора в одном из нескольких режимов: полёт по маршруту, полёт в точку, кружение, возврат домой. Другие режимы полёта являются скорее вспомогательными.

Посадка АМ5 осуществляется при помощи парашюта. Траектория борта корректируется техником так, чтобы по расчёту (скорость снижения 5 м/с) с учётом скорости ветра посадка произошла в высокую траву, чтобы минимизировать возможные повреждения при жёсткой посадке.

Аэрофотосъёмка при помощи Альбатроса М5

Маршруты аэрофотосъёмки составляются программой Albatros GS в полуавтоматическом режиме по заданным линейным или площадным объектам; к числу последних относятся и поля. Построенный

маршрут следует откорректировать так, чтобы развороты БПЛА происходили преимущественно против ветра: так обеспечивается компактность манёвра, поскольку встречный ветер уменьшает скорость самолёта относительно земли, а следовательно, и проходимый за время поворота путь.

Следует отметить, что алгоритм маршрутизации автопилота достаточно прост, и не позволяет в автоматическом режиме выполнять сложные виды поворотов: автопилот просто стремится привести борт на заданную траекторию. Практика показывает, что, в связи с этим, в некоторых ситуациях длина вылета БПЛА за пределы поля недостаточна для полного разворота, и на фотографирование поля борт заходит с креном, вследствие чего первые несколько фотографий отбраковываются. Избежать данной ситуации можно, вручную увеличив расстояние вылета, либо манёвром «лететь в точку» отводить БПЛА перед заходом на следующий проход (т.н. галс).

На AM5 штатно устанавливается цифровая фотокамера видимого спектра Sony Alpha 6400, однако, в настройках ПО можно выставить и другую камеру, для которой известны оптические характеристики. Снимки сохраняются на карту памяти.

БПЛА осуществляет вертикальную аэрофотосъёмку. При дальнейшей обработке полученных фотографий к каждой из них привязываются координаты, и при помощи, к примеру, ПО Agisoft Photoscan составляется ортофотоплан отснятой местности.

Существует модификация AM5 с видеокамерой, постоянно транслирующей изображение на НСУ, но для гражданских потребителей таковая, как правило, не поставляется.

По ортофотоплану в видимом диапазоне можно проанализировать густоту всходов, а использование индекса Chlorophyll Green (GCI) позволяет в некоторых случаях выделять на снимке растения различных видов. Применяя нейросетевой анализ снимков, как авторы работы [1], можно добиться повышения точности и информативности получаемых данных.

Требования к аэрофотосъёмке для сельского хозяйства

Несмотря на перечисленные выше возможности, в сельском хозяйстве более применимы мультиспектральные камеры. Главным образом, использование ближнего инфракрасного диапазона в дополнение к видимому спектру позволяет определить нормализованный вегетационный индекс – NDVI, по которому можно получить более пол-

ную информацию о состоянии полевой культуры. Также инфракрасный диапазон позволяет отследить температуру поверхности поля и таким образом, выявить недостаточное или избыточное орошение. Сравнительный анализ различных вегетационных индексов приведён в работе [3].

Тем не менее, существует такая отрасль, как агрогеодезия, которая не требует применения мультиспектральных камер. Некоторые теоретические аспекты агрогеодезии рассмотрены в работе [2].

Предложения

Согласно изложенному выше, Альбатрос М5 в штатной комплектации не полностью реализует требования, предъявляемые к аэрофотосъёмке в сельском хозяйстве, поскольку используемая камера Sony Alpha 6400 работает только в видимом диапазоне и не задействует инфракрасную часть спектра, позволяющую достичь намного большей информативности снимков.

Решением может быть использование мультиспектральной камеры в данном БПЛА. Представленные в продаже мультиспектральные камеры варьируются от совсем небольших с невысоким качеством до тяжёлых модулей стоимостью несколько миллионов рублей. Наиболее предпочтительной была бы камера компактного форм-фактора, желательно с возможностью обратной связи: для корректного отображения на НСУ количества сделанных фотографий в контакт синхронизации вспышки на штатной камере подключается датчик, фиксирующий срабатывания затвора камеры.

Заключение

Полётные характеристики БПЛА Альбатрос М5 полностью удовлетворяют требованиям к аэрофотосъёмке в сельском хозяйстве. Однако, применяемая штатная фотокамера работает только в видимом диапазоне, что не позволяет получать значения вегетационного индекса NDVI, более информативного по сравнению с индексом GCI, использующим только видимый спектр. Использование мультиспектральной камеры помогло бы решить данную проблему и, таким образом, полностью использовать возможности данного БПЛА.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мониторинг азотного питания зерновых культур на основе нейросетевых технологий / И. С. Блеканов, А. Е. Молин, Е. С. Разумилов, Е. А. Ершов // Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве:

Материалы III Всероссийской научной конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 16–17 сентября 2021 года. – Санкт-Петербург: Агрофизический научно-исследовательский институт РАСХН. – 2021. – С. 141-145.

2. Кузнецов, О. Ф. Фактура фотосъёмочных и геоетро-геодезических работ в применении к сельскохозяйственным землям / О. Ф. Кузнецов, А. П. Иванова, М. А. Васильева, В. В. Делигирова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 4(90). – С. 186-190.

3. Курбанов, Р. К. Применение вегетационных индексов для оценки состояния сельскохозяйственных культур / Р. К. Курбанов, Н. И. Захарова // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2020. – № 14(4). – С. 4-11.

Об авторах:

Егоров Вячеслав Владимирович, кандидат технических наук, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», egorov-empt@rgau-msha.ru.

Вильховой Владимир Евгеньевич, ассистент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», prodimex@rgau-msha.ru.

About the authors:

Vyacheslav V. Egorov, Cand.Sc. (Engineering), Senior Lecturer, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, egorov-empt@rgau-msha.ru.

Vladimir E. Vilkhovoy, assistant, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, prodimex@rgau-msha.ru.

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ С ПОМОЩЬЮ ПОЛУЧАЕМОЙ ИНФОРМАЦИИ ОТ ОБЪЕКТОВ ДВИЖЕНИЯ

**Р. Н. Егоров, Н. Н. Пуляев, Д. А. Москвичев, В. А. Крючков,
Д. М. Дудин**

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье рассматривается процесс формирования и использования информационных потоков в системах подвески транспортных средств, развитие информационных технологий и систем подвески со встроенными сложными датчиками и методы сбора данных. Кроме того, в статье рассмотрена возможность осуществления сбора данных о состоянии дорожного полотна в режиме реального времени, как для последующей выработки безопасных траекторий движения машины, так и для скорейшего и качественного ремонта дорог.

Ключевые слова: безопасность, подвеска, неровностей дороги, информационные потоки.

MONITORING THE CONDITION OF THE ROAD SURFACE USING INFORMATION RECEIVED FROM TRAFFIC OBJECTS

**R. N. Egorov, N. N. Pulyaev, D. A. Moskvichev, V. A. Kryuchkov,
D. M. Dudin**

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. This article examines the process of forming and using information flows in vehicle suspension systems. The development of information technology and suspension systems with integrated sophisticated sensors and data collection methods. In addition, the article considers the possibility of collecting data on the condition of the roadway in real time, both for the subsequent development of safe vehicle trajectories and for the fastest and high-quality road repairs.

Keywords: safety, suspension, road bumps, information flows.

Формирование и использование информационных потоков в системах подвески транспортных средств имеют решающее значение для повышения производительности, комфорта и безопасности. Элементы подвески транспортных средств предназначены для изоляции шасси и

пассажиров от неровностей дороги, обеспечивая плавность хода с помощью таких компонентов, как пружины и амортизаторы [1, 2].

С развитием технологий в современные системы подвески были встроены сложные датчики и реализованы методы сбора данных, что позволяет осуществлять мониторинг в режиме реального времени и адаптивно корректировать настройки подвески в зависимости от меняющихся дорожных условий [3, 4].

Примечательно, что интеграция этих информационных потоков привела к разработке адаптивных систем подвески, которые используют данные в реальном времени для оптимизации динамики автомобиля.

Геолокация транспортного средства в режиме реального времени позволяет получать точные координаты неровностей на дорожном полотне. Важнейшей особенностью получаемой информации должно быть текущее состояние дороги в пятне контакта каждого конкретного колеса. Системы используют различные датчики для сбора информации о дорожном покрытии и поведении автомобиля, и в дальнейшем динамически регулировать характеристики подвески и повышать качество езды и управляемость [5, 6].

Однако использование сложных информационных потоков также создаёт проблемы и противоречия, связанные с надёжностью, стоимостью и обслуживанием таких передовых систем. Сложность этих технологий безусловно может привести к увеличению расходов на ремонт и потенциальным сбоям в критических ситуациях, если их не обслуживать, учитывая эксплуатацию.

Рисунок 1 – Схема согласованности колеса с покрытием

Тем не менее, преимущества, в том числе улучшенный комфорт, улучшенная управляемость и повышенная безопасность, подчёркивают важность информационных потоков в современных системах транспортных средств [6].

Система подвески транспортного средства играет важную роль в изоляции шасси и пассажиров от внезапных вертикальных смещений, вызванных неровностями дорожного покрытия [1].

Отслеживать перемещения подвески возможно линейными датчиками, учитывая коэффициент динамичности K_d :

$$K_d = 1 + \frac{y^2}{2gl} + \frac{Q_{tc} + Q_k}{2}, \quad (1)$$

где y – вертикальный размер неровности,

l – длина участка неровности,

g – ускорение свободного падения,

Q_{tc} , Q_k – подрессоренная и неподрессоренная массы транспортного средства.

Возможен учет бесконтактным способом: магнитострикционные датчики, ультразвуковые и пр. [7]

Современные системы подвески всё чаще полагаются на сложные датчики и системы сбора данных для мониторинга условий в режиме реального времени. Эти датчики собирают данные о неровностях дорожного покрытия, скорости транспортного средства и действиях водителя, что позволяет адаптивно корректировать настройки подвески, а также возможно траекторию движения. Например, интеграция технологии LIDAR позволяет транспортным средствам точно измерять контуры дороги, повышая способность подвески динамически реагировать на изменения рельефа, а также поможет совместно с геолокацией машины в режиме реального времени закрепить информацию о конкретной неровности дорожного полотна на электронной карте [4].

Эффективная связь между различными компонентами системы подвески имеет решающее значение, в том числе и для сбора информации о неровностях под каждым конкретным колесом. Данные, собранные датчиками, передаются в центральный блок управления, который обрабатывает информацию и отправляет команды для соответствующей настройки подвески и записывает с привязкой к геолокации характеристики неровностей в пятне контакта всех опорных колес с дорожным полотном. Такая координация системы позволяет автомобилю адаптироваться к различным дорожным условиям. Эта возмож-

ность регулировки в реальном времени обеспечивает лучшую управляемость при динамических манёврах, делая вождение более приятным и безопасным [5].

Эти данные в режиме реального времени имеют решающее значение для поддержания устойчивости автомобиля и комфорта пассажиров, поскольку позволяют системе регулировать уровень амортизации в зависимости от текущих условий вождения. Вместе с тем поможет в оценке состояния дорожного полотна в пятне контакта колеса с дорогой, а при наличии большего числа датчиков и всей полосы движения.

Поток информации также является неотъемлемой частью взаимодействия между системой подвески и системами управления транспортным средством. Усовершенствованные алгоритмы, такие как диагональные рекуррентные нейронные сети (DRNN), могут обрабатывать поступающие данные для оптимизации работы полуактивных систем подвески [4].

Регулируя реакцию подвески и траекторию движения в режиме реального времени, эти системы управления могут значительно улучшить качество езды и управляемость, кроме того, увеличат ресурс элементов подвески. Благодаря этой интеграции создается непрерывная обратная связь, которая обеспечивает оперативное реагирование на любые изменения условий вождения, что делает езду более безопасной и комфортной, в том числе и за счет накопленной информации о неровностях и их характеристиках на автомобильных дорогах с привязкой к местоположению на электронной карте [4].

Отклонения качества дорожного полотна от стандарта при наличии постоянно актуализирующейся базы данных от движущихся объектов, позволит дорожным службам оперативнее и точнее решать задачи по поддержанию дорожного полотна в требуемом ГОСТ Р 50597-2017 состоянии.

Улучшение состояния дорожного полотна позволит снизить число неисправностей транспортных средств, аварийность и позволит экономить владельцам транспорта на ремонте подвески и шин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Егоров, Р. Н. Обеспечение качества перевозки мелкопартионных грузов автомобильным транспортом / Р. Н. Егоров, А. Н. Журилин // Международный технико-экономический журнал. – 2020. – № 3. – С. 62-67.

2. Техническая эксплуатация автомобилей / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев [и др.]. – М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. – 564 с.
3. Егоров, Р. Н. Обоснование выбора и оснащенности подержанного коммерческого транспорта / Р. Н. Егоров, А. Н. Журилин, Т. А. Паршикова // Международный технико-экономический журнал. – 2015. – № 6. – С. 87-91.
4. Егоров, Р. Н. Основы транспортных технологий и систем на транспорте / Р. Н. Егоров, Ю. С. Коротких. – М. : ООО «Автограф», 2021. – 220 с.
5. Shot lot transportation by road transport / R. N. Egorov, Yu. S. Korotkikh, O. V. Vinogradov, V. G. Ryabchikova // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering. – Krasnoyarsk, 2021.
6. Механизация растениеводства (термины и определения) : учебное пособие / Н. В. Алдошин, М. А. Мехедов, В. И. Пляка, И. Н. Гаспарян. – М. : ООО «Сам Полиграфист», 2021. – 260 с.
7. Дудин, Д. М. Разработка автоматизированной системы адаптации колесного движителя автомобилей и тракторов к почвенно-климатическим условиям / Д. М. Дудин // Сборник трудов, приуроченных к 76-й Всероссийской студенческой научно-практической конференции, посвященной 155-летию со дня рождения В. П. Горячкина, Москва, 14-17 марта 2023 года. – М. : Общество с ограниченной ответственностью «Мегаполис», 2023. – С. 20-23.
8. Дидманидзе, О. Н. Повышение эффективности производственных процессов по надежному снабжению населения продуктами виноградарства в условиях Азербайджана / О. Н. Дидманидзе. – М. : ООО «Триада», 2003. – 115 с. – ISBN 5-9546-0012-0.
9. Автомобильные перевозки / О. Н. Дидманидзе, А. А. Солнцев, А. М. Карев [и др.]. – М.: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2018. – 554 с. – ISBN 978-5-7367-1436-0.

Об авторах:

Егоров Роман Николаевич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», egorov@rgau-msha.ru.

Пуляев Николай Николаевич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», pulyaev@rgau-msha.ru.

Москвичев Дмитрий Александрович, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», moskvichev@rgau-msha.ru.

Крючков Виталий Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», v.kryuchkov@rgau-msha.ru.

Дудин Даниил Максимович, ассистент кафедры тракторов и автомобилей, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», d.dudin@rgau-msha.ru.

About the authors:

Roman N. Egorov, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, egorov@rgau-msha.ru.

Nikolay N. Pulyaev, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, pulyaev@rgau-msha.ru.

Dmitry A. Moskvichev, Cand.Sc. (Engineering), senior lecturer, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, moskvichev@rgau-msha.ru.

Vitaliy A. Kryuchkov, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, v.kryuchkov@rgau-msha.ru.

Daniil M. Dudin, assistant in Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, d.dudin@rgau-msha.ru.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОЛЕСНЫХ ШАССИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТИПА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Д. С. Комиссаров¹, А. В. Лавров²

¹ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана», г. Москва, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В настоящее время серийно выпускаемые автомобили, и тракторные поезда, применяемые в сельском хозяйстве, не отвечают требованиям государственного стандарта по максимально допустимому воздействию двигателей на почву. Это приводит к значительным потерям и недобору урожая сельскохозяйственной продукции. Рассматривается перспектива разработки экологически безопасного транспортно-технологического шасси автомобильного типа сельскохозяйственного назначения.

Ключевые слова: колесные шасси, воздействие двигателей на почву, уплотнение почвы, перевозка продукции АПК.

PROSPECTS OF APPLICATION OF WHEELED CHASSIS OF AUTOMOBILE TYPE IN AGRICULTURE

D. S. Komissarov^a, A. V. Lavrov^b

^aBauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

^bRussian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. Currently, mass-produced cars and tractor trains used in agriculture do not meet the requirements of the state standard for the maximum permissible impact of propellants on the soil. This leads to significant losses and crop shortages of agricultural products. The prospect of developing an environmentally safe transport and technological chassis of an automobile type for agricultural purposes is being considered.

Keywords: wheeled chassis, soil impact of propulsors, soil compaction, transportation of agricultural products.

Введение

В настоящее время автомобили широко применяются в сельском хозяйстве для перевозки продукции и в качестве шасси для установки

сельскохозяйственного оборудования. Применяются дорожные грузовые автомобили и грузовые автомобили повышенной проходимости (АПП), способные двигаться по местности.

Например, с 1984 года серийно выпускался сельскохозяйственный автомобиль-тягач УРАЛ-5557 грузоподъемностью 7 тонн. На его шасси серийно выпускались машины внесения удобрений (МЖА-Ф-7, МТА-Ф-7 и МХА-7). Давление в шинах регулировалось в пределах 3,5...1,5 кгс/см², с возможностью кратковременного снижения до 1,0 кгс/см².

Рисунок 1 – МТА-Ф-7 на шасси УРАЛ-5557

Также для работы в сельском хозяйстве разрабатывались специальные адаптированные шасси высокой проходимости (ШВП).

Рисунок 2 – ЗИЛ-132РС

В 1975 году был разработан опытный образец ЗИЛ-132РС грузоподъемностью 5 тонн, унифицированный по ряду узлов и агрегатов с серийными автомобилями и специальными шасси производственной программы ЗИЛ. Высокая проходимость достигалась в том числе применением шин увеличенной размерности 16.00-20. Давление в шинах снижалось до 0,7 атм. Несмотря на высокую эффективность шасси, подтвержденную опытной эксплуатацией, выпуск машины не наладили по причине недостаточных мощностей автозавода.

Шасси УРАЛ 5557 уступали по грузоподъемности тракторным поездкам с прицепами грузоподъемностью 10 и 15 тонн, определяющими массу большинства сельскохозяйственных машин. У современных шасси УРАЛ грузоподъемностью 12 тонн полная масса возрастает на 5 тонн, номинальное давление в шинах составляет 5,6 кгс/см², что приводит к существенному возрастанию давления на почву, существенному уплотнению почвы и увеличению глубины колеи.

Цель и объект исследования

Использование схемы размещения колес вдоль бортов, аналогично ЗИЛ-132РС, ЗИЛ-135, с использованием агрегатной базы автомобилей УРАЛ с применением шин увеличенной размерности позволяет создать семейство перспективных колесных шасси автомобильного типа 6х6 и 8х8 (рисунок 3).

Рисунок 3 – Семейство перспективных колесных шасси автомобильного типа

При этом расчетное значение номинального давления в шинах не превышает 250 кПа, длительное снижение давления – до 100 кПа, кратковременное – до 70 кПа.

Основные технические параметры перспективных колесных шасси автомобильного типа приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные технические параметры семейства перспективных колесных шасси автомобильного типа

Колесная формула	6х6	8х8
Грузоподъемность, т	10	15
Допустимая полная масса, кг, не более	19,5	26
Максимальная скорость, не менее, км/ч	85	
Минимальная скорость, не более, км/ч	3,3	
Минимальный габаритный радиус поворота, м,	10,25	12,5
Дорожный просвет, мм,	570	
Колея, мм	2000	
Емкость топливного бака, л	200	
Размер шин	18.00-24	
Допускаемое давление в шинах, кПа	70...250	

В сравнении с тракторным автопоездом аналогичной грузоподъемности (таблица 2, рисунки 4, 5) перспективное шасси 6х6 обладает:

- ☐ меньшей массой;
- ☐ высокой скоростью движения;
- ☐ компактными размерами;
- ☐ равномерным распределением давления на почву;
- ☐ увеличенной тягой.

Таблица 2 – Сравнение параметров перспективного колесного шасси 6х6 и тракторного поезда Т-150К + 1ПТС-9

Наименование	ПКШ 6х6	Т-150К+
Грузоподъемность, т	10	10
Полная масса, кг	19,5	22,4
Полная масса в условиях тяжелого бездорожья, т	15,5	21
Максимальная скорость на шоссе, км/ч	85	30
Габаритная длина, мм	8570	12700
Максимальная мощность двигателя, л.с.	312	150
Минимальный габаритный радиус поворота, м	10,25	6,6
Коридор поворота, м	3,3	5,6
Удельный сцепной вес, %	100	43
Нагрузка на первый мост	6500	4800

Нагрузка на второй мост	6500	4900
Нагрузка на третий мост	6500	6350
Нагрузка на четвертый мост		6350
Давление на почву колес первого моста, КПа,	280/100*	174
Давление на почву колес второго моста, КПа,	280/100*	177
Давление на почву колес третьего моста, КПа,	280/100*	380**
Давление на почву колес четвертого моста, КПа,	-	380**
* номинальное / минимальное длительно допустимое давление		
** шина 1300х500-533, номинальное давление		

Рисунок 4 – Сравнение геометрических размеров в плане тракторного поезда Т-150К + 1ПТС-9 (вверху) и перспективных колесных шасси 6х6 (в центре), 8х8 (внизу)

АПП и тракторные поезда не обеспечивают выполнение норм максимального давления на почву по ГОСТ 58655-2019. Перспективные шасси на шинах увеличенной размерности обеспечивают его выполнение:

- ☐ на почвах с влажностью менее 0,9 НВ при снижении давления в шинах без ограничения пробега;
- ☐ на почвах с влажностью более 0,9 НВ при снижении давления в шинах с ограничением пробега.

Рисунок 5 – Сравнение геометрических параметров поворота тракторного поезда Т-150К + 1ПТС-9 (вверху) и перспективного колесного шасси 6х6 (внизу)

АПП и тракторные поезда не обеспечивают выполнение норм максимального давления на почву по ГОСТ 58655-2019. Перспективные шасси на шинах увеличенной размерности обеспечивают его выполнение:

- ☐ на почвах с влажностью менее 0,9 НВ при снижении давления в шинах без ограничения пробега;
- ☐ на почвах с влажностью более 0,9 НВ при снижении давления в шинах с ограничением пробега.

Увеличенная монтажная площадка обеспечивает возможность установки на шасси сменных кузовов и сельскохозяйственных машин: на шасси 6х6 – машин внесения удобрений МЭКТ-10, ПЖУ-9, МХС-10; на шасси 8х8 – МЖТ-Ф-13.

Выводы:

· Существует возможность создания перспективного семейства колесных шасси сельскохозяйственного применения на агрегатной базе серийных автомобилей повышенной проходимости обладающего рядом преимуществ по сравнению с существующими транспортно-технологическими агрегатами, в т.ч. обеспечивающего выполнение требований ГОСТ 58655-2019;

· Перспективные колесные шасси сельскохозяйственного применения могут быть использованы для монтажа различных сельскохозяйственных машин и устройств;

Перспективы исследования:

· Исследование возможности применения на перспективных колесных шасси шин существующих типоразмеров;

· Исследование возможности создания специальных «агрофильных» движителей с шинами, допускающими длительную эксплуатацию при сниженном давлении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. К вопросу создания экологически безопасных всесезонных автомобилей сельскохозяйственного назначения / З. А. Годжаев, А. Ю. Измайлов, Н. Е. Евтюшенков, М. Л. Крюков // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – № 3. – С. 48-52.

2. Попов, С. Д. Проблемы и перспективы создания мобильного транспортно-технологического комплекса сельскохозяйственного назначения / С. Д. Попов // Известия Международной академии аграрного образования. 2017. – Выпуск № 36. – С. 106-113.

3. Измайлов, А. Ю. Прогноз транспортного обеспечения сельскохозяйственного производства / А. Ю. Измайлов, Н. Е. Евтюшенков // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2010. – № 1. – С. 16-20.

4. Application of the universal tire characteristic for estimating the maximum pressure of a pneumatic tractor wheel on the ground / A. Izmailov, V. Shevtsov, A. Lavrov, Z. Godzhaev et al. // SAE Technical Paper, 2015, doi:10.4271/2015-01-2760.

5. (2014). The use of universal characteristics of a tire in determining maximum pressure of a wheel running on soil / V. G. Shevtsov, A. A. Soloveychik, A. V. Rusanov, A. V. Lavrov // Proceedings of the International Research & Practice Video Conference : Topical research trends in the twenty-first century: Theory and practice. – 2014. – Pp. 169-173.

6. Rusanov, V. A. The problem of soil compaction movers and effective ways to solve it / V. A. Rusanov. – Moscow, Russia: all-Russian Institute of mechanization.

7. Lavrov, A. V. Evaluation of impact on soil wheel drivers of self-propelled selection seeder / A. V. Lavrov, N. S. Kryukovskaya, N. A. Petrishev // Agrimachinery and Energy. – 2018. – № 4(21). – С. 95-106.

8. Попов, С. Д. Фундаментальные проблемы развития внутреннего транспорта малонаселенных регионов России и пути ее решения на основе развития высококомбинированных автомобильных транспортных комплексов (на примере Архангельской области) / С. Д. Попов // Экономика, проектный менеджмент, образование, юриспруденция, экология, медицина, социология, философия, филология, психология, техника, математика: состояние и перспективы развития : Сб.

статей по итогам Международной научно-практической конференции. 04-05 июля 2013 г. – СПб. : «КультИнформПресс», 2013. – С. 110-117.

9. Sarkisov, P. Active tire pressure control as a step to sustainable automotive mobility / P. Sarkisov, S. Popov // Proceedings of Multidisciplinary Academic Conference on Transport, Logistics and Information Technologies (MAC – TLIT 2013). – 1st ed., Prague. – MAC Prague consulting Ltd. – 2013.

10. Boris, N. Heavy-Duty Wheeled Vehicles: Design, Theory, Calculations / N. Boris, B. Belousov, S. Popov // SAE International with a Product Code of R-419. – 2013.

11. Использование универсальной характеристики шины для определения максимального давления колесного движителя на почву / В. Г. Шевцов, А. А. Соловейчик, А. В. Русанов, А. В. Лавров // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т.2, № 2-2 (7-2). – С. 169-173.

12. Сельскохозяйственное транспортно-технологическое шасси с «агрофильными колесными движителями» / С. Д. Попов, Д. С. Комиссаров, А. В. Лавров, А. А. Гуляев // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2020. – № 8. – С. 28-36.

Об авторах:

Комиссаров Дмитрий Сергеевич, ведущий конструктор Научно-производственного центра «Специальное машиностроение», ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана».

Лавров Александр Владимирович, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», lavrov@rgau-msha.ru.

About the authors:

Dmitry S. Komissarov, Leading Designer of the Scientific and Production Center «Special Mechanical Engineering», Bauman Moscow State Technical University.

Alexander V. Lavrov, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, lavrov@rgau-msha.ru.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАРУЖНОЙ ОЧИСТКИ МАШИН

В. М. Корнеев

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Изложен механизм гидродинамической очистки. Приведены параметры управления процессом очистки. Рассмотрены способы интенсификации процесса наружной очистки машин.

Ключевые слова: загрязнения, фактор воздействия, гидродинамическая очистка, интенсификация процесса.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF OUTDOOR CLEANING MACHINES

V. M. Korneev

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. The mechanism of hydrodynamic purification is described, and the parameters for controlling the cleaning process are given. Methods of intensifying the process of external cleaning of machines are also considered.

Keywords: pollution; impact factor; hydrodynamic cleaning; process intensification

В процессе эксплуатации сельскохозяйственной техники на ее наружных поверхностях откладываются разнообразные загрязнения. Наличие загрязнений снижает качество проведения ремонтно-обслуживающих работ. Длительное воздействие загрязнений на металлические поверхности приводит к нарушению лакокрасочных покрытий, вследствие протекания коррозионных процессов. Именно поэтому изыскание и исследование способов повышения качества очистки является важным направлением работ по интенсификации процессов разрушения загрязнений и удаления их с очищаемой поверхности [1].

В настоящее время для очистки наружных поверхностей машин широко применяется струйная очистка. Разновидностью этого способа является гидродинамическая очистка. Сущность гидродинамической очистки заключается в подаче на загрязненную поверхность моющей струи с температурой 20...80°C под давлением 10...20 МПа. Эффек-

тивность гидродинамической очистки определяются кинетической энергией струи, зависящей от сил гидродинамического давления и сил скоростного воздействия струи жидкости, растекающейся по очищаемой поверхности. Известно, что эффективному удалению загрязнений способствует комплексное воздействие гидродинамической мощности струи, химической активности и температуры моющей жидкости [2].

В практике ремонтных предприятий гидродинамическая очистка осуществляется мониторными моечными машинами. Основными преимуществами этих машин являются: мобильность и универсальность, высокая производительность процесса очистки, небольшой расход воды и энергии на очистку, соответствие экологическим и санитарно-гигиеническим требованиям. Особенностью мониторных моечных машин является использование специальных насадков, обеспечивающих формирование различных видов струй моющей жидкости [3].

При удалении загрязнений мониторной моечной машиной эффективность процесса очистки во многом зависит от двух воздействующих факторов: фактора механического воздействия моющей жидкости на загрязнения и фактора физико-химических свойств моющего раствора.

Эффективность фактора механического воздействия выражается следующей зависимостью:

$$M_{\text{в}} = f \ P, Q, L \quad (1)$$

где P – гидродинамическое давление струи, МПа; Q – расход моющей жидкости, л/ч; L – расстояние от насадка до очищаемой поверхности, м.

Фактор физико-химического воздействия моющего раствора можно представить в виде:

$$M_{\text{фх}} = f \ C, T, P, \quad (2)$$

где C – концентрация моющего средства в растворе, г/л; T – температура моющего раствора, °С; P – продолжительность процесса очистки, мин.

Очистка наружных поверхностей машин обусловлена затратами энергии на разрушение и удаление загрязнений. В общем виде работу сил, затрачиваемую на очистку, можно представить выражением [4]:

$$A_{\text{о}} = A_{\text{мв}} + A_{\text{фхв}}, \quad (3)$$

где $A_{\text{мв}}$ – работа, связанная с механическим воздействием моющего раствора на загрязнения; $A_{\text{фхв}}$ – работа, совершаемая моющей жидкостью за счет ее физико-химических свойств и очищающей способности.

Основным параметром, формирующим интенсивность гидродинамического воздействия струи жидкости на объект очистки, является сила ее удара (гидродинамическое давление) о загрязненную поверхность, представляющая собой функцию расхода моющей жидкости, ее плотности и скорости, угла наклона струи и расстояния от насадка до очищаемой поверхности [4]:

$$P_{\text{уд}} = \rho \cdot v^2 \cdot 1 \cdot \cos \alpha \cdot \varphi, \quad (4)$$

где ρ – плотность моющей жидкости в аэрированной струе в зоне ее контакта с очищаемой поверхностью, кг/м³; Q – расход моющей жидкости, м³/с; v – средняя скорость потока моющей жидкости при встрече с очищаемой поверхностью, м/с; α – угол наклона струи в месте контакта с поверхностью, рад; φ – коэффициент силы удара струи, зависящий от расстояния насадка до очищаемой поверхности.

Из анализа выражения (4) следует, что основными направлениями работ по повышению эффективности гидродинамической очистки и исследований способов интенсификации процесса являются: увеличение расхода жидкости через насадок; повышение скорости потока моющей жидкости; оптимизация расстояния от насадка до очищаемой поверхности, угла наклона струи к поверхности очистки и скорости перемещения струи относительно очищаемой поверхности; обеспечение у очищаемой поверхности высокоскоростного потока моющей жидкости при умеренной подаче насоса.

Интенсификация процесса наружной очистки путем увеличения расхода и скорости моющей жидкости требует применения насосов большой производительности. Исследованиями установлено, что для удаления загрязняющих частиц размером от 2 до 5 мкм необходима подача насоса 1500 л/мин и скорость потока моющей жидкости от 17 до 30 м/с, что практически обеспечит невозможно [5].

Известно, что расход моющей жидкости непосредственно связан с диаметром выходного отверстия насадка, т.е. увеличить скорость истечения моющей жидкости и тем самым повысить силу удара возможно путем уменьшения диаметра насадка при неизменном значении подачи жидкости. Однако, диаметр насадка для мониторинных моечных машин должен быть в диапазоне 3,5...8 мм. Уменьшение диаметра менее 3,5 мм приводит к загрязнению насадка. Кроме того, тонкая струя

обладает малой устойчивостью при перемещении в воздухе и быстро распадается [6].

Интенсификация процесса очистки гидравлическими струями ограничена невозможностью обеспечения достаточного размера зоны действия касательных сил, являющихся составляющей главного вектора разрушения загрязнений.

Результаты специальных исследований показали, что одним из перспективным способом интенсификации гидродинамической очистки является обеспечение у очищаемой поверхности кавитационного режима течения моющей жидкости. При этом в потоке жидкости возникает явление кавитации, характеризующееся значительными пульсациями давления и температуры. При этом решающую роль в удалении загрязнений играют микроударные волны в струе, порождаемые схлопывающимися пузырьками. Эффективность очистки определяется конструкцией и геометрическими параметрами кавитационного насадка для пистолета-распылителя мониторинной моечной машины. Назначение кавитационного насадка – создание условий для генерирования и передачи паровых кавитационных пузырьков к очищаемым поверхностям.

Таким образом, исследование гидродинамики кавитационного потока моющей жидкости представляет научный и практический интерес при обосновании конструкции кавитационного насадка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технология ремонта машин / В. М. Корнеев, И. Н. Кравченко, Д. И. Петровский и др. – М. : ИНФРА-М, 2018. – 314 с.
2. Тельнов, Н. Ф. Технология очистки сельскохозяйственной техники / Н. Ф. Тельнов. – М. : Колос, 1983. – 256 с.
3. Шемякина, Е. Ю. Технология очистки сельскохозяйственных машин с обоснованием параметров и режимов работы моечной установки с воздушным экраном : автореф. дис...канд. техн. наук : 05.20.03 / Шемякина Евгения Юрьевна. – Рязань, 2009. – 22 с.
4. Слизов, А. Ф. Совершенствование технологии наружной очистки сельскохозяйственной техники : автореф. дис...канд. техн. наук : 05.20.03 / Слизов Анатолий Федорович. – М., 1992. – 17 с.
5. Белянин, П. Н. Промышленная чистота машин / П. Н. Белянин, В. М. Данилов. – М. : Машиностроение, 1982. – 224 с.
6. Дидманидзе, О. Н. Основы работоспособности и надежность технических систем / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев. – М. : Учебно-методический центр «Триада», 2020. – 232 с.

7. Бондаренко, Е. В. Основы проектирования и эксплуатации технологического оборудования / Е. В. Бондаренко, Р. С. Фаскиев. – М. : Академия, 2011. – 304 с.

8. Технология ремонта машин : учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 311900 «Технология обслуживания и ремонта машин в агропромышленном комплексе» / О. Н. Дидманидзе, В. С. Новиков, Н. А. Очковский [и др.]. – М. : Учебно-методический центр «Триада», 2006. – 284 с. – ISBN 5-9546-0030-9.

Об авторе:

Корнеев Виктор Михайлович, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», tsmo@rgau-msha.ru.

About the author:

Victor M. Korneev, Cand. Sc. (Engineering), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, tsmo@rgau-msha.ru.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОГРУЖНОЙ ОЧИСТКИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИЕЙ

Н. В. Корнеев

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Изложены результаты исследования интенсификации процесса погружной очистки путем кавитационного воздействия пульсирующего потока моющей жидкости на загрязнения.

Ключевые слова: загрязнения, поток жидкости, гидродинамическая кавитация, кавитационное воздействие, интенсификация процесса.

INTENSIFICATION OF THE PROCESS OF IMMERSION CLEANING BY HYDRODYNAMIC CAVITATION

N. V. Korneev

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The results of a study on the intensification of the immersion cleaning process by the cavitation effect of a pulsating stream of washing fluid on impurities are presented.

Keywords: pollution, liquid flow, hydrodynamic cavitation, cavitation effect, process intensification.

В современном техническом сервисе одной из актуальных проблем является обеспечение чистоты металлических поверхностей деталей при ремонте машин. Качественная очистка деталей от эксплуатационных и технологических загрязнений предотвращает преждевременное их изнашивание, увеличивает срок безотказной работы агрегатов, обеспечивая долговечность отремонтированных машин.

Среди различных способов очистки деталей наиболее эффективным является способ погружения деталей в моющий раствор с последующей выдержкой в нем (погружная очистка). Физической основой погружной очистки является процесс гидродинамического взаимодействия моющей жидкости с частицами загрязнений. Эффективность этого взаимодействия определяется физико-химическими свойствами моющей жидкости, режимными параметрами процесса очистки и сте-

пению возбуждения очищающей среды. Для повышения интенсивности гидродинамического воздействия жидкости на удаляемые загрязнения применяются следующие способы интенсификации:

- обеспечение у очищаемой поверхности турбулентного потока моющей жидкости, создаваемого лопастным винтом;
- сообщение очищаемым деталям возвратно-поступательного или вращательного движения в моющем растворе;
- возбуждение моющей жидкости вибрацией деталей;
- создание неустановившегося потока моющей жидкости с помощью гидромеханического генератора колебаний;
- использование колебаний давления моющей жидкости ультразвуковой частоты [1, 2].

При погружной очистке наиболее эффективным фактором механического воздействия на удаляемые загрязнения является гидродинамическая кавитация, позволяющая интенсифицировать процесс удаления загрязнений на основе использования эффекта кавитационного режима течения моющей жидкости [3, 4].

Как известно, кавитация представляет собой физический процесс образования в жидкости каверн (пустот), заполненных растворенными в ней газами и паром или их смесью с последующим схлопыванием пузырьков. Гидродинамическая кавитация возникает при нарушении сплошности течения моющей жидкости в тех участках потока, где давление, понижаясь, достигает некоторого критического значения. В результате в локальной области потока моющей жидкости, где создается пониженное давление, происходит образование газопаровых кавитационных пузырьков. Затем пузырьки уносятся потоком в область высокого давления жидкости и там схлопываются. Процесс схлопывания пузырьков сопровождается локальными гидравлическими ударами, разрушающими загрязнения за счет кинетической энергии кумулятивных струй моющей жидкости. Однако широкое применение интенсификации процесса погружной очистки кавитационным воздействием сдерживается некоторыми трудностями, связанными с отсутствием рекомендаций по выбору конструкции гидродинамического кавитатора, представляющего собой насадок, формирующий затопленную струю моющей жидкости [5].

Установлено, что процесс удаления загрязнений в погружных машинах, в основном, осуществляется механической работой, совершаемой за счет кинетической энергии струй моющей жидкости. Процесс переноса кинетической энергии струи к очищаемым деталям может

осуществляться за счет гидродинамических эффектов схлопывания кавитационных пузырьков. При этом эффективность разрушения загрязнений определяется конструкцией гидродинамического излучателя, который представляет собой устройство, преобразующее часть энергии затопленной турбулентной струи моющей жидкости в энергию колебаний давления пульсирующего кавитационного потока схлопывающихся газопаровых пузырьков.

Основным элементом гидродинамического излучателя является кавитационный насадок (рисунок 1), имеющий конструктивное исполнение в форме конфузора, сообщенного с диффузором 4. Конфузор представляет собой входное отверстие в виде усеченного конуса 3 с цилиндрическим участком 2. Конфузор сообщен с диффузором, посредством камеры-резонатора 5. Отношение меньших диаметров диффузора и конфузора равно 2,0, а отношение расстояния от выходного отверстия диффузора до камеры-резонатора к меньшему диаметру конфузора 5,0.

Рисунок 1 – Кавитационный насадок:

1 – корпус; 2 – цилиндрический участок; 3 – входное отверстие; 4 – диффузор;
5 – камера-резонатор

Гидродинамический излучатель работает следующим образом. Моющая жидкость, подаваемая насосом, поступает во входное коническое отверстие. Проходя через цилиндрический участок проточного

канала (сужение проточного тракта), поток резко укоряется и, следовательно, кинетическая энергия жидкости возрастает. Таким образом, благодаря действию скоростей турбулентный поток жидкости будет насыщаться движущимися кавитационными пузырьками. При дальнейшем течении потока в камере-резонаторе возникают кавитационные явления, сопровождающиеся значительным повышением давления и температуры жидкости. В результате струйный кавитационный поток оказывает одновременное воздействие на очищаемую поверхность детали давлением пульсирующего кавитационного потока схлопывающихся газопаровых пузырьков и гидродинамического силового давления струйных потоков, что приводит к эрозионному разрушению загрязнения.

Проведенные испытания конструкции кавитационного насадка и результаты экспериментальных исследований показали, что при интенсификации процесса погружной очистки путем кавитационного воздействия турбулентных затопленных струй обеспечивается эффективный отрыв частиц загрязнений от очищаемых поверхностей и их перевод в поток моющей жидкости. Это обеспечивается одновременным формированием четырех затопленных струй, направленных на вращающуюся в камере машины корзину с очищаемыми деталями.

Исследованиями установлено, что интенсивность очистки зависит от характера движения моющей жидкости и гидродинамических характеристик потока. Величина давления перед насадком, обеспечивающего условия разрушения частиц загрязнения составляла 20 МПа при средней скорости движения потока моющей жидкости, равной 30 м/с. В процессе исследования подтверждено, что при изменении гидродинамического давления в диапазоне частот от 10 Гц до 12 кГц в кавитационных зонах, заполненных движущимися пузырьками, статическое давление достигает 100 МПа.

Таким образом, экспериментально установлена целесообразность применения в качестве способа интенсификации процесса погружной очистки кавитационного воздействия моющей жидкости на загрязнения очищаемых деталей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тельнов, Н. Ф. Технология очистки сельскохозяйственной техники / Н. Ф. Тельнов. – М. : Колос, 1983. – 256 с.

2. Корнеев, В. М. Технологическое оснащение предприятий технического сервиса : монография / В. М. Корнеев, Д. И. Петровский, Г. А. Гаджиев. – М. : ООО «УМЦ «Триада»», 2020. – 256 с.

3. Лебединский, К. В. Определение технологических режимов при гидродинамической кавитационной очистке поверхностей деталей / К. В. Лебединский, Н. Е. Курносов // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2014. – № 1. – С. 30-33.

4. Курносов, Н. Е. Экспериментальные исследования гидродинамической кавитационной очистки поверхностей деталей от масляных загрязнений / Н. Е. Курносов, К. В. Лебединский // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2012. – № 2. – С. 117-125.

5. Дидманидзе, О. Н. Основы работоспособности и надежность технических систем / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев. – М. : Учебно-методический центр «Триада», 2020. – 232 с.

6. Толочко, Н. К. Кавитационные моечно-очистные технологии и их применение в сельском хозяйстве : монография / Н. К. Толочко, А. Н. Челединов. – Минск : БГАТУ, 2018. – 284 с.

Об авторе:

Корнеев Николай Викторович, аспирант, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», swy16@mail.ru.

About the author:

Nikolay V. Korneev, graduate student, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, swy16@mail.ru.

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВЕРТИКАЛЬНО-ХОНИНГОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ ДЛЯ ПРОЦЕССА ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ ДЛЯ УСЛОВИЙ МАССОВОГО ПРОИЗВОДСТВА РЕМКОМПЛЕКТОВ

Д. О. Леонов¹, В. В. Лазарь², У. Ю. Антонова¹, Ю. Г. Вергазова¹,
В. К. Зимогорский¹

¹ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Московский Авиационный институт (национальный исследовательский университет)», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Определено, что отечественный станок 3Н833 морально и физически устарел и проигрывает современным станкам из Дании, Италии и Китая, которые показывают практически равные по величинам значения интегральных показателей качества в процессе финишной обработки гильз цилиндров двигателей ЯМЗ при производстве ремкомплектов. С целью импортозамещения целесообразно использовать станок из Китая 3МВ9817.

Ключевые слова: финишная обработка гильз цилиндров, интегральный показатель качества, технологическое оборудование, вертикально-хонинговальный станок.

INTEGRAL QUALITY INDICATORS OF VERTICAL HONING MACHINES FOR THE PROCESS OF FINISHING CYLINDER LINERS FOR CONDITIONS OF MASS PRODUCTION OF REPAIR KITS

D. O. Leonov^a, V. V. Lazar^b, U. Yu. Antonova^a, Yu. G. Vergazova^a,
V. K. Zimogorsky^a

^aRussian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

^bMoscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russian Federation

Abstract. It has been determined that the domestic machine 3N833 is morally and physically obsolete and is inferior to modern machines from Denmark, Italy and China, which show almost equal values of integral quality indicators in the process of finishing the cylinder liners of YaMZ engines in the production of repair kits. For the purpose of import substitution, it is advisable to use the machine from China 3MB9817.

Keywords: *finishing of cylinder liners, integral quality indicator, technological equipment, vertical honing machine.*

Нежность современных тракторов и их двигателей обеспечивается технологическим развитием не только машиностроительного, но и ремонтного производства [1-3]. Оценка качества в процессе производства – это процесс, который позволяет определить, насколько продукция соответствует установленным требованиям и ожиданиям потребителей [4]. Формула интегрального показателя качества была получена еще в начале XX века и с успехом используется по сей день. В настоящее время это один из современных критериев оценки качества как процессов, так и оборудования.

Интегральный показатель качества широко применяется в экономике и логистике [5, 6], при оценке эксплуатационных свойств автомобилей и дорог [7, 8], при оценке деятельности предприятий в машиностроении [9], в пищевой промышленности [10, 11] и других сферах деятельности.

Наиболее удобными показателями для оценки качества технологического оборудования являются материалоемкость, энергоемкость и трудоемкость [12]. Эти показатели могут использоваться для анализа и оптимизации производственных процессов, а также для сравнения эффективности различных технологий и оборудования.

Рассмотрим оценку интегральных показателей качества на примере технологического оборудования, применяемого в массовом производстве гильз цилиндров для двигателей ЯМЗ. Для условий массового производства и работе оборудования в 3 смены в результате расчетов получены данные, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета интегральных и комплексных показателей качества для станков при работе в 3 смены

Показатели	Станки			
	ЗН833 РФ, базовый	ЗМВ9817 China	Dalcan Machines-Denmark VCH 450	ROBBI SET150-L Italy
Удельная материалоем-	0,00065	0,00013	0,00009	0,00015
Удельная трудоемкость t ,	0,056	0,017	0,017	0,01
Удельная энергоемкость	0,096	0,006	0,008	0,015

Удельная материалоем- кость ПВМ $m_{\text{п}}$, ед./шт.	0,02	0,02	0,02	0,02
Удельная трудоемкость ТОиР $t_{\text{ТОиР}}$, чел.-ч /шт.	0,0034	0,001	0,001	0,001
Производительность труда $P_T=1/t$, шт./чел.-ч	18	60	60	60
Себестоимость обра- ботки $З$, руб./шт.	10,95	4	4,16	3,93
Интегральный показа- тель качества g , шт./руб.	0,091	0,25	0,24	0,254

Из данных таблицы 1 видно, что интегральный показатель качества оцениваемых вертикально-хонинговальных станков практически одинаков и можно с успехом использовать итальянскую модель ROBBI SET150-L, датскую модель Dalcen Machines-Denmark VCH 450, а также китайскую модель 3MB9817.

Исходя из полученных данных видно, что отечественный станок 3Н833 морально и физически устарел и проигрывает современным станкам, которые в свою очередь, показывают практически равные по величинам значения интегральных показателей качества в процессе финишной обработки гильз цилиндров двигателей ЯМЗ при производстве ремкомплектов в 3 смены. В плане импортозамещения можно предложить покупку станка из Китая 3MB9817, использование которой в условиях санкций более рационально, так как данный станок ничем не уступает конкурентам, а с покупкой запасных частей и материалов для его обслуживания не будет никаких проблем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дидманидзе, О. Н. Основы работоспособности и надежность технических систем / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев. – М. : Учебно-методический центр «Триада», 2020. – 232 с.
2. Перспективы развития тракторостроения в России / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев, М. М. Прокофьев // Техника и оборудование для села. – 2023. – № 5 (311). – С. 2-7.
3. Производство и ремонт отечественных машин для агропромышленного комплекса с позиции принципа 5М / М. Н. Ерохин, О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба [и др.] // Вестник машиностроения. – 2023. – № 8. – С. 701-704.
4. Разработка процедуры управления внутренней документацией для промышленного предприятия / П. В. Голиницкий, Ю. Г. Вергазова, У. Ю. Антонова // Компетентность. – 2018. – № 7(158). – С. 20-25.

5. Digitalization of Fault Detection in Crankshafts / P. V. Golinitskii, U. Yu. Antonova, G. N. Temasova [et al.] // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2024. – Vol. 53, No. 3. – P. 263-270.
6. Булгакова, И. Н. Интегральный показатель качества как инструмент управления структурой издержек закупочной логистики / И. Н. Булгакова // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. – 2023. – № 3. – С. 14-22.
7. Обзор подходов к оценке качества и подвижности автотракторной техники, основанных на методах многокритериальной оценки качества / Л. Н. Мазунова, В. В. Беляков, Л. Н. Ерофеева, М. Е. Бушуева // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. – 2023. – Т. 21, № 3. – С. 170-179.
8. Паневин, Н. И. Применение метода интегрального показателя качества для оценки эффективности дорожных работ / Н. И. Паневин, И. А. Провоторов // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. – 2017. – № 6. – С. 55-60.
9. Ивахненко, А. Г. Анализ результатов деятельности предприятий по обеспечению качества машиностроительной продукции / А. Г. Ивахненко, О. В. Аникеева // Инженерный вестник Дона. – 2020. – № 11(71). – С. 143-159.
10. Quality Development of Soft Drinks Based on the Qualimetric Model Engineering / L. A. Mayurnikova, T. V. Krapiva, A. A. Koksharov, A. A. Drill // Food Industry. – 2023. – Vol. 8, No. 4. – P. 79-88.
11. Quality control system based on the HACCP principles for safety production process of toppling bread / A. A. Odintsova, N. I. Dunchenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2022. – Vol. 981, №. 2. – P. 022063.
12. Оценка технико-экономического уровня технологического оборудования для обработки гильз цилиндров / О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба, Ю. Г. Вергазова, В. В. Лазарь // Агроинженерия. – 2021. – № 2(102). – С. 68-74. – DOI 10.26897/2687-1149– 2021-2-68–74.

Об авторах:

Леонов Олег Альбертович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой метрологии, стандартизации и управления качеством, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», oaleonov@rgau-msha.ru.

Лазарь Вера Владимировна, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», vera_lazar69@mail.ru.

Антонова Ульяна Юрьевна, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», uantonova@rgau-msha.ru.

Вергазова Юлия Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», vergazova@rgau-msha.ru.

Зимогорский Владислав Кириллович, ассистент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», zimogorskij@rgau-msha.ru.

About the authors:

Oleg A. Leonov, D.Sc. (Engineering), professor, Head of the Department of Metrology, Standardization and Quality Management, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, oaleonov@rgau-msha.ru.

Vera V. Lazar, Senior Lecturer, Moscow Aviation Institute (National Research University), vera_lazar69@mail.ru.

Ulyana Yu. Antonova, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, uantonova@rgau-msha.ru.

Yulia G. Vergazova, Cand.Sc. (Engineering), associate professor Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, vergazova@rgau-msha.ru.

Vladislav K. Zimogorsky, assistant, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, zimogorskij@rgau-msha.ru.

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ РАЗБРАКОВКИ ПРИ КОНТРОЛЕ ШАТУННЫХ ШЕЕК КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ЗМЗ-5245.10

О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба, Ю. Г. Вергазова

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Проведено сравнение параметров разбраковки при применении нового гладкого микрометра, а также нового и изношенного рычажного микрометра при контроле шатунных шеек коленчатых валов после обработки под ремонтный размер на предприятии технического сервиса. Рекомендовано ежегодно проводить калибровку микрометров, используемых для контроля размеров ответственных деталей.

Ключевые слова: контроль, погрешность измерений, параметры разбраковки, шатунная шейка, ремонтный размер, микрометр, рычажный микрометр.

EVALUATION OF THE DISASSEMBLY PARAMETERS DURING THE CONTROL OF THE CONNECTING ROD NECKS OF THE ZMZ-5245.10 CRANKSHAFTS

O. A. Leonov, N. Zh. Skaruba, Yu. G. Vergazova

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. A comparison of the disassembly parameters was carried out when using a new smooth micrometer, as well as a new and worn lever micrometer when checking the connecting rod necks of crankshafts after processing for repair size at a technical service enterprise. It is recommended to calibrate micrometers used to control the dimensions of critical parts annually.

Keywords: control, measurement error, disassembly parameters, connecting rod neck, repair size, micrometer, lever micrometer.

Работоспособность и надежность технических систем, машин и оборудования в сельском хозяйстве закладывается на этапах проектирования и производства, а в процессе эксплуатации обеспечивается не только применением требуемых технической документации, материалов и комплектующих, но и качеством ремонта [1-5].

При повышении точности основанного машиностроительного производства ужесточаются и требования к метрологическому обеспе-

чению ремонтного производства [6, 7]. Одна из особенностей ремонтного производства заключается в том, что ремонт машин относится к услугам. При оказании услуг не требуется обязательная поверка средств измерений, а также не обязательна калибровка, хотя она и рекомендуется. Однако качество контрольных операций значительно влияет на качество ремонта машин.

При ремонте узлов и агрегатов сельскохозяйственной техники используют средства измерений, которые выбирают в соответствии с технической документацией на ремонт. Это предполагает сплошной контроль всех поверхностей деталей, подлежащих дефектовке, а также поверхностей, контролируемых после ремонта.

При ремонте двигателей внутреннего сгорания шейки коленчатого вала обрабатываются до ремонтных размеров. Разберём процесс контроля шатунных шеек коленчатого вала двигателя ЗМЗ-5245.10 после такой обработки под первый ремонтный размер 59,75_{-0,019} мм.

В таблице 1 представлены результаты расчёта количества неправильно принятых и неправильно забракованных шатунных шеек при использовании простого микрометра МК75-0,01, рекомендованного в нормативных документах, а также нового МРИ1 и изношенного МРИ2 рычажных микрометров МРИ75-0,001.

Таблица 1 – Параметры разбраковки шатунных шеек двигателя ЗМЗ-5245.10 микрометрами

	Средство измерений		
	МК75	МРИ1	МРИ2
Контролируемый размер, D , мм	59,75 _{-0,019}		
Допуск размера, мкм	19		
Точность технологического процесса, $T/\sigma_{\text{тех}}$	4		
Предельная погрешность СИ, Δlim , мкм	±12	±3,5	±7
СКО погрешности измерения, $\sigma_{\text{мет}}$, мкм	6	1,75	3,5
Коэффициент точности измерения, $A_{\text{мет}}$, %	32	9	22
Количество неправильно принятых шеек, m , %	4,2	1,1	2,4
Количество неправильно забракованных шеек, n , %	15,5	2,7	7,5
Итого брака, %	19,7	3,8	9,9

Из-за погрешности измерений при использовании микрометра гладкого МК75-0,01 выходит наибольший процент брака – 19,7 %. Из них 15,5 % – это неправильно забракованные шатунные шейки, которые были признаны негодными, но по факту являются годными. Для

таких шеек возникают расходы на обработку под следующий ремонтный размер, что увеличивает стоимость ремонта. А если не обнаружить 4,2 % неправильно принятых шатунных шеек, то у потребителя может случиться отказ оборудования. Использование изношенного рычажного микрометра МРИ75-0,001 приводит к меньшим последствиям по браку, но они тоже существенны – почти 10 %, из них 7,5 % – неправильно забракованных. И только новый рычажный микрометр МРИ75-0,001 удовлетворяет требованиям к качеству измерений.

Анализ данных таблицы показывает, что применение изношенных измерительных инструментов приводит к увеличению количества неправильно принятых и неправильно забракованных шатунных шеек. Важно учитывать, что коленчатый вал двигателя ЗМЗ-5245.10 имеет четыре шатунные шейки, из-за чего возрастает вероятность его ошибочного забраковывания. Коленчатый вал – это дорогостоящая деталь, и её замена при ремонте конкретного двигателя ЗМЗ приведёт к повышению стоимости работ для потребителя услуг. В результате клиент может обратиться в другое ремонтное предприятие, где более ответственно подходят к процессу ремонта и контроля.

Вывод

Таким образом, обозначена роль контроля в обеспечении качественного ремонта шатунных шеек коленчатых валов двигателей ЗМЗ. Указаны особенности и последствия несоблюдения сроков калибровки измерительных приборов в ремонтном производстве. Для контроля шеек коленчатых валов при ремонте двигателей предложено использовать рычажные микрометры с обязательной ежегодной калибровкой и поддержанием погрешности средств измерений в установленных рамках.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Современная агроинженерия / В. И. Трухачев, О. Н. Дидманидзе, М. Н. Ерохин [и др.]. – М. : Изд-во ООО «Мегаполис», 2022. – 413 с.
2. Дидманидзе, О. Н. Основы работоспособности и надежность технических систем / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев. – М. : Изд-во «Триада», 2020. – 232 с.
3. Производство и ремонт отечественных машин для агропромышленного комплекса с позиции принципа 5М / М. Н. Ерохин [и др.] // Вестник машиностроения. – 2023. – Т. 102, № 8. – С. 701-704.
4. Лебедев, А. Т. Совершенствования методов оперативного управления надежностью технических систем в АПК / А. Т. Лебедев, А. А. Серегин, А. Г. Арженовский // Тракторы и сельхозмашины. – 2020. – № 1. – С. 71-76.

5. Лебедев, А. Т. Повышение эффективности использования машинно-тракторных агрегатов / А. Т. Лебедев, А. Г. Арженовский // Технический сервис машин. – 2019. – № 1(134). – С. 46-52.

6. Голиницкий, П. В. Разработка процедуры управления внутренней документацией для промышленного предприятия / П. В. Голиницкий, Ю. Г. Вергазова, У. Ю. Антонова // Компетентность. – 2018. – № 7(158). – С. 20-25.

7. Технология ремонта машин : Учебник для студентов вузов по специальности «Технология обслуживания и ремонта машин в агропромышленном комплексе» / Е. А. Пучин, О. Н. Дидманидзе, В. С. Новиков [и др.]. Том 1. – М. : ООО «Издательство «Триада», 2006. – 348 с. – ISBN 5-9546-0029-5.

8. Шкаруба, Н. Ж. Современные организационные подходы к метрологическому обеспечению ремонтного производства / Н. Ж. Шкаруба // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2013. – № 3(59). – С. 41-44.

Об авторах:

Леонов Олег Альбертович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой метрологии, стандартизации и управления качеством, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», oaleonov@rgau-msha.ru.

Шкаруба Нина Жоровна, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», shkaruba@rgau-msha.ru.

Вергазова Юлия Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», vergazova@rgau-msha.ru.

About the authors:

Oleg A. Leonov, D.Sc. (Engineering), professor, Head of the Department of Metrology, Standardization and Quality Management, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, oaleonov@rgau-msha.ru.

Nina Zh. Shkaruba, D.Sc. (Engineering), professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, shkaruba@rgau-msha.ru.

Yulia G. Vergazova, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, vergazova@rgau-msha.ru.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕССА ЗВЕНА «КОМБАЙН-АВТОМОБИЛЬ»

Н. А. Майстренко, Р. Н. Дидманидзе, А. А. Спицына

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматривается частный случай транспортно-технологического процесса в рамках уборки зерновых культур. Выполнено сравнение автомобильного транспортного средства в различных производственных условиях, приводятся результаты оптимизационных расчетов уборочно-транспортного комплекса. Проведены теоретические исследования по определению оптимального состава транспортно-технологических комплексов при вариации производственных и агроландшафтных условий.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, оптимизация транспортного обеспечения, транспортно-технологические средства, поточность.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE COMBINE-CAR TRANSPORT PROCESS

N. A. Maistrenko, R. N. Didmanidze, A. A. Spitsyna

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. The article considers a special case of a transport and technological process within the framework of harvesting grain crops. A comparison of an automobile vehicle in various production conditions is performed, and the results of optimization calculations of the harvesting and transport complex are presented. Theoretical studies have been conducted to determine the optimal composition of transport and technological complexes under varying production and agrolandscape conditions.

Keywords: road transport, optimization of transport support, transport and technological means, flowability.

Введение

В сельском хозяйстве одну из ключевых ролей при производстве продукции растениеводства играет уборочно-транспортных комплекс. Современное производство невозможно без повышения эффективности транспортно-технологического обеспечения технологических процессов [1].

Значительный вклад в развитие машиностроения внёс Василий Прохорович Горячкин, ведь именно он заложил основы современной

науки о сельскохозяйственных машинах — «земледельческая механика». Благодаря его трудам была вскрыта механическая сущность многих процессов и машин и создана научная теория для их проектирования и рационального построения, что требует фундаментальных экспериментальных исследований [2].

Транспорт в агропромышленном комплексе играет ключевую роль в развитии сельского хозяйства, обеспечивая связь между производителями и потребителями, а также способствуя эффективному перемещению сельскохозяйственной продукции. Однако, классическим перемещением материальных потоков дело не ограничивается. Есть и специфические частные виды транспортных процессов в сельскохозяйственном производстве, например, работа автомобилей в составе звена транспортно-уборочного комплекса.

Существует несколько видов наземного транспорта, используемых в сельском хозяйстве, к ним относятся:

Тракторный транспорт: трактор — транспорт, без которого невозможно представить современное сельское хозяйство. С его помощью можно выполнять множество задач.

Автомобильный транспорт: наиболее распространенный вид, который обеспечивает гибкость и оперативность доставки. Автомобили могут доставлять продукцию как на короткие расстояния (в пределах района), так и на дальние (в другие регионы или страны).

Гужевой транспорт в настоящее время практически не используется или его применение носит локальный характер.

Как правило эти два вида транспортных средств сравнивают по следующим показателям: назначение, мощность и производительность, маневренность и удобство использования, универсальность и эксплуатационные расходы.

Транспортно-технологические средства в сельском хозяйстве играют ключевую роль в эффективной организации производственных процессов, обеспечивая перемещение и обработку сельскохозяйственной продукции [3]. Инновации в области транспортных и технологических средств являются важными факторами для устойчивого развития сельского хозяйства [4].

Определение оптимальных сочетаний производственных условий и количества автомобилей в уборочно-транспортном звене представляет собой практический интерес для агроинженеров при планировании и оптимизации транспортного обеспечения [5].

Принято считать, что расходы на эксплуатацию трактора выше, поскольку он требует больше топлива и технического обслуживания. Кроме того, стоимость самого трактора и его запчастей зачастую значительно превышает аналогичные показатели для автомобиля. Автомобиль дешевле в обслуживании и потребляет меньше топлива, однако его эффективность в выполнении сельскохозяйственных задач ниже, чем у трактора. Таким образом, выбор между трактором и автомобилем зависит от конкретных потребностей хозяйства. Если необходимо выполнять тяжелые сельскохозяйственные работы, то предпочтение следует отдать трактору. Если же основная задача заключается в доставке грузов и перемещении персонала, то автомобиль будет более подходящим вариантом.

Цель исследований. Определить оптимальные соотношения обслуживающих транспортных средств при работе в звене с зерноуборочным комбайном при различных сочетаниях производственных условий.

Методы исследований. Теория массового обслуживания, математические методы моделирования производственных процессов.

Научная новизна и актуальность темы. Повышение эффективности функционирования транспортно-технологического звена уборки зерновых культур.

Результаты исследований. Приводятся результаты оптимизационных расчетов уборочно-транспортного комплекса по уборке зерновых при различных сочетаниях производственных и агроландшафтных условий. Определено, что в расчёте на 100 га, с учётом производительности применяемых комбайнов и установленных сроков уборки, требуется один зерноуборочный комбайн марки ACROS 585. Для обеспечения условия поточности необходимо равенство производительностей технических средств, работающих в одном звене. Однако, полное исключение простоев при реализации транспортно-технологических работ неизбежно.

Смоделируем производственную ситуацию. Пропорциональность обслуживающих средств к обслуживаемым будет меняться в зависимости от плеча транспортировки.

Рассмотрим ситуации при расстоянии транспортировки урожайной массы зерна до места временного хранения равном 1, 5, 10, 15 км. Транспортировка будет осуществляться грузовым автомобилем ГАЗон NEXT-3307 мощностью 110 кВт.

Для определения оптимального соотношения обслуживаемых агрегатов (комбайнов) при установленном числе обслуживающих (три транспортных средства), в качестве критерия принимаем минимум приведенных затрат на выполнение единицы работы обслуживаемых агрегатов используем формулу:

$$C = \frac{mC_1 + nC_n}{1}, \quad (1)$$

где: C_m , C_n – затраты за час работы соответственно обслуживаемых и обслуживающих агрегатов.

Принимаем допущение, что эксплуатационные показатели комбайна не зависят от длины транспортировки убранного урожая.

Среднее время наполнения бункера комбайна зерном при урожайности 40 ц/га – 25,2 минут. Выгрузка зерна из бункера комбайна производится 5 минут.

Среднее время оборота автомобильного транспортного агрегата 35 минут.

Методика расчета оптимальной структуры уборочно-транспортных, транспортно-посевных и других комплексов с вероятностной оценкой состояний взаимодействующих подсистем позволяет получить наибольшую эффективность их применения при поточной организации процессов. Используя данную методику, определяем экстремум функциональной зависимости количества транспортных средств при фиксированном значении комбайнов по критерию оптимальности для различных сочетаний производственных и агроландшафтных условий, в соответствии с рисунками 1, 2, 3, 4.

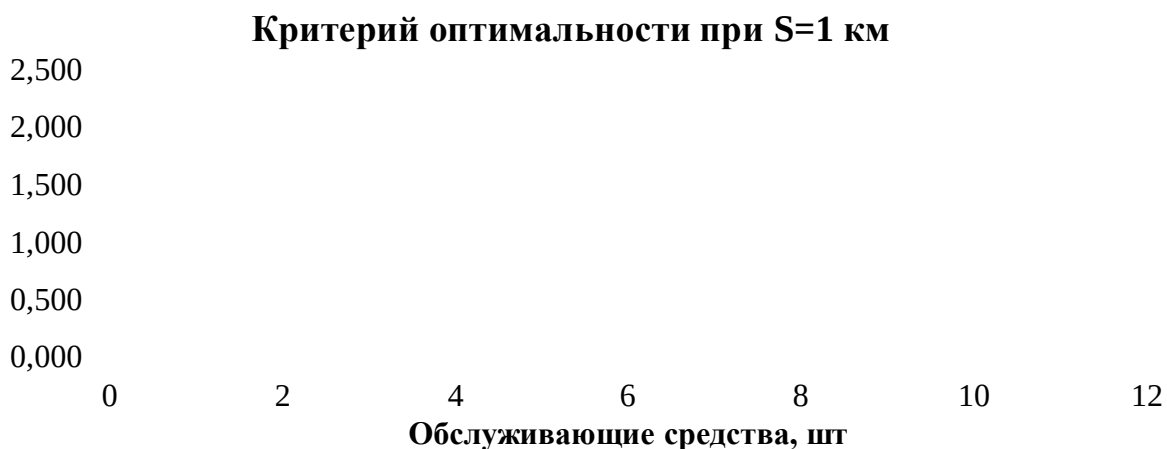


Рисунок 1 – Функциональная зависимость приведённых затрат на единицу производительность от количества тракторных транспортных средств при длине транспортировки 1 км

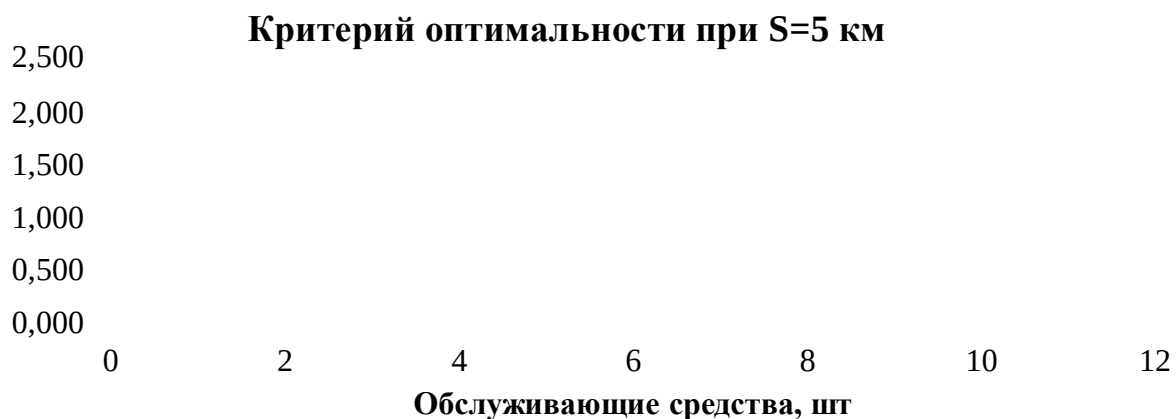


Рисунок 2 – Функциональная зависимость приведённых затрат на единицу производительность от количества тракторных транспортных средств при длине транспортировки 5 км

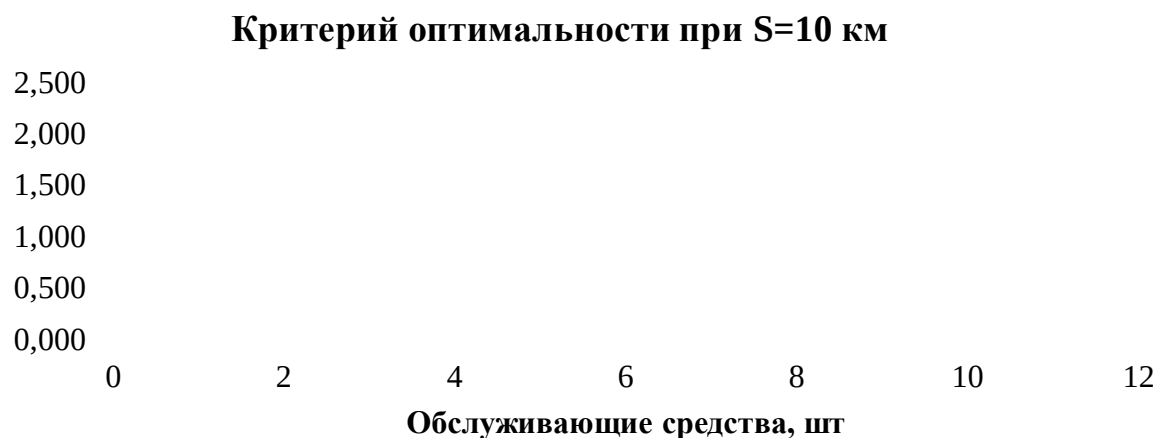


Рисунок 3 – Функциональная зависимость приведённых затрат на единицу производительность от количества тракторных транспортных средств при длине транспортировки 10 км

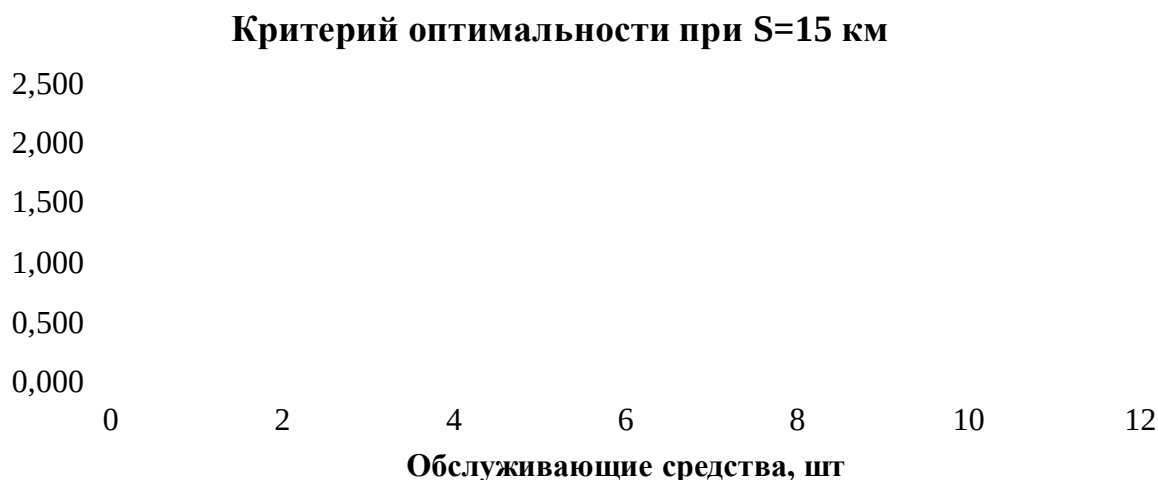


Рисунок 4 – Функциональная зависимость приведённых затрат на единицу производительность от количества тракторных транспортных средств при длине транспортировки 15 км

Полученные экстремумы оптимальных сочетаний количества комбайнов и автомобильных транспортных средств, в соответствии с рисунками 1, 2, 3, 4 позволяют оптимизировать состав уборочно-транспортного комплекса при различных сочетаниях производственных и агроландшафтных условий.

Выводы

1. Математическим моделированием установлено, что производительность комбайна составит 16 т/ч, автомобильного транспортного средства – 16,04 т/ч;

2. Приведенные затраты за час работы комбайна составляют 2,6 тыс. руб./ч, автомобильного транспортного средства – 2,11 тыс. руб/ч;

3. Оптимальный состав уборочно-транспортного комплекса в различных производственных условиях при использовании автомобильного транспортного средства для обслуживания одного комбайна:

- при длине транспортировки 1 км (1 комбайн 4 транспортных средства);
- при длине транспортировки 5 км (1 комбайн 5 транспортных средств);
- при длине транспортировки 10 км (1 комбайн 6 транспортных средств);
- при длине транспортировки 15 км (1 комбайн 7 транспортных средств).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Скороходов, А. Н. Моделирование и оптимизация параметров и режимов работы посевных комбинированных комплексов по критериям ресурсосбережения / А. Н. Скороходов, А. Г. Левшин, Н. А. Майстренко // Доклады ТСХА, Москва, 06-08 декабря 2018 года. – Том выпуск 291, часть 2. – М.: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2019. – С. 147-153.

2. Снежко, В. Л. Разработка системы автоматизации экспериментальных исследований / В. Л. Снежко, М. С. Палиивец, А. В. Подобный // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2022. – № 10-2(73). – С. 118-120. – DOI 10.24412/2500-1000-2022-10-2-118-120.

3. Луханин, В. А. Повышение равномерности внесения минеральных удобрений оптимизацией параметров дозаторов, направлятелей и центробежных распределителей : специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Луханин Владимир Александрович. – зерноград, 2012. – 192 с.

4. Алхамад Алхадж Драй, А. Результаты оптимизации уборочно-транспортного комплекса по уборке хлопка в условиях Сирийской Арабской Республики / А. Алхамад Алхадж Драй, Н. А. Майстренко, В. И. Балабанов // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2018. – № 1(83). – С. 48-51. – DOI 10.26897/1728-7936-2018-1-48-51.

5. Унификация расчетов производительности транспортных и транспортно-технологических средств / Н. А. Майстренко, В. П. Уваров, А. Г. Левшин [и др.] // Инженерные технологии и системы. – 2020. – Т. 30, № 4. – С. 637-658. – DOI 10.15507/2658-4123.030.202004.637-658.

6. Скороходов, А. Н. Вероятностная оценка взаимодействия звеньев технологического комплекса / А. Н. Скороходов, О. Н. Дидманидзе // Международный технико-экономический журнал. – 2012. – № 1. – С. 54.

7. Harvesting of mixed crops by axial rotary combines / N. Aldoshin, O. Didmanidze, B. Mirzayev, F. Mamatov // TAE 2019 - Proceeding of 7th International Conference on Trends in Agricultural Engineering 2019, Prague, 17-20 сентября 2019 года. – Prague: Czech University of Life Sciences Prague, 2019. – P. 20-25.

8. Aldoshin, N. Harvesting Lupinus albus axial rotary combine harvesters / N. Aldoshin, O. Didmanidze // Research in Agricultural Engineering. – 2018. – Vol. 64, No. 4. – P. 209-214. – DOI 10.17221/107/2017-RAE.

Об авторах:

Майстренко Николай Александрович, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», nmaystrenko@rgau-msha.ru.

Дидманидзе Ремзи Назирович, кандидат экономических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», rdidmanidze@rgau-msha.ru.

Спицына Алёна Александровна, студент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», spitsyna.aliona15.03@mail.ru.

About the authors:

Nikolay A. Mystrenko, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, nmaystrenko@rgau-msha.ru.

Remzi N. Didmanidze, Cand.Sc. (Economics), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, rdidmanidze@rgau-msha.ru.

Alyona A. Spitsyna, student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, spitsyna.aliona15.03@mail.ru.

ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИТИЙ-ИОННЫХ ТЯГОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН КАК ЭЛЕМЕНТ ЭКОНОМИКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА

Г. Е. Митягин¹, М. К. Бисенов²

¹ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

²УО «Кызылординский открытый университет», г. Кызылорда, Республика Казахстан

Аннотация. В статье рассматриваются ключевые аспекты повторного использования литий-ионных аккумуляторов в контексте устойчивого развития и минимизации экологического воздействия. Акцентируется внимание на важности разработки эффективных стратегий управления сроком службы аккумуляторов, что становится особенно актуальным с ростом спроса на электромобили. Подчеркнуто, что повторное использование аккумуляторов не только способствует сохранению ценных материалов, но и создает новые рабочие места в различных секторах, включая транспортировку и переработку отходов. Ожидается, что к 2030 году общая энергоемкость аккумуляторов, доступных для вторичного использования, значительно возрастет, что откроет новые возможности для инноваций и инвестиций в этот сектор. Проведен обзор достижений в области аккумуляторных технологий, таких как разработка твердотельных аккумуляторов, которые обещают повысить безопасность и долговечность по сравнению с традиционными литий-ионными батареями. Обращено внимание на необходимость оптимизации циклов зарядки и внедрения передовых систем управления аккумуляторами, что позволит продлить срок службы батарей и сократить потребность в их замене. Определены препятствия, с которыми могут столкнуться процессы повторного использования, к которым отнесены материальные потери при восстановлении и необходимость переработки восстановленных материалов. Подчеркнута важность модульной архитектуры аккумуляторов, которая упрощает процессы разборки и восстановления, что соответствует принципам экономики замкнутого цикла. Для полной реализации потенциала литий-ионных тяговых аккумуляторов в рамках экономики замкнутого цикла необходимы дальнейшие исследования и инновационные решения, направленные на оптимизацию процессов повторного использования и рециркуляции.

Ключевые слова: электромобиль, литий-ионная тяговая аккумуляторная батарея, повторное использование, экономика замкнутого цикла.

REUSE OF LITHIUM-ION TRACTION BATTERIES FOR MODERNIZATION OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES AS AN ELEMENT OF A CLOSED-CYCLE ECONOMY

G. E. Mityagin^a, M. K. Bisenov^b

^aRussian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

^bKyzylorda Open University, Kyzylorda, Republic of Kazakhstan

Abstract. *The article discusses the key aspects of lithium-ion battery reuse in the context of sustainable development and minimizing environmental impacts. Attention is focused on the importance of developing effective strategies for battery life management, which is becoming especially relevant with the growing demand for electric vehicles. It was emphasized that the reuse of batteries not only contributes to the preservation of valuable materials, but also creates new jobs in various sectors, including transportation and waste recycling. By 2030, the total energy intensity of batteries available for recycling is expected to increase significantly, opening up new opportunities for innovation and investment in this sector. An overview of advances in battery technology is provided, such as the development of solid-state batteries, which promise to improve safety and durability compared to traditional lithium-ion batteries. Attention is drawn to the need to optimize charging cycles and implement advanced battery management systems, which will extend battery life and reduce the need for replacement. The obstacles that reuse processes may face are identified, which include material losses during restoration and the need to recycle recovered materials. The importance of modular battery architecture is emphasized, which simplifies the disassembly and restoration processes, which corresponds to the principles of a closed-loop economy. Further research and innovative solutions aimed at optimizing reuse and recycling processes are needed to fully realize the potential of lithium-ion traction batteries in a closed-loop economy.*

Keywords: *electric vehicle, lithium-ion traction battery, reuse, closed-loop economy.*

Введение

Повторное использование литий-ионных тяговых аккумуляторов представляет собой важнейший элемент экономики замкнутого цикла, способствующий устойчивой практике модернизации транспорта и технологий. Являясь основным решением для хранения энергии в электромобилях и различных технологических приложениях, литий-ионные аккумуляторы обладают высокой плотностью энергии и возможностью многократного использования, что делает их идеальными кандидатами для использования в течение длительного времени после первоначального использования в автомобилях. Примечательно, что переход к электромобилям, вызванный экологическими проблемами и

достижениями в области аккумуляторных технологий, привел к растущему спросу на эффективные стратегии управления сроком службы батарей, обеспечивающие восстановление ресурсов и минимизацию воздействия на окружающую среду [1-3]. Литий-ионные аккумуляторы играют ключевую роль не только в личном и общественном транспорте, но и в различных отраслях, таких как медицинское оборудование, электроинструменты и системы возобновляемой энергетики [4, 5]. Повторное использование этих аккумуляторов, особенно тех, которые были выведены из эксплуатации в электромобилях, может значительно сократить количество отходов и продлить срок службы ценных материалов, тем самым повышая эффективность использования ресурсов. Однако процесс повторного использования этих батарей сталкивается с различными техническими, экономическими и нормативными проблемами, включая износ батарей, неопределенность рынка и сложности обращения с опасными материалами [6-8]. Повторное использование аккумуляторов принято считать в качестве альтернативы вторичной переработке, однако противники этой идеи указывают на техническую и организационную сложность технологических процессов, обеспечивающих продление срока службы аккумуляторов, а также на необходимость более быстрого возвращения материалов в обращение путем вторичной переработки. Неоднозначность и недостаточная проработка этих вопросов создает серьезные проблемы для создания экономики замкнутого цикла, в которой как повторное использование, так и рециркуляция оптимизированы для минимизации воздействия на окружающую среду при рациональных материальных и трудовых затратах [6, 9, 10]. Таким образом, исследования и эффективные инновационные решения необходимы для полной реализации потенциала литий-ионных тяговых аккумуляторов в рамках экономики замкнутого цикла.

Цель статьи заключается в исследовании теоретических основ и практических аспектов повторного использования литий-ионных тяговых аккумуляторов для модернизации транспортных и технологических машин.

Для достижения поставленной цели необходимо решение ряда задач:

- определить наиболее вероятные источники образования вторичных литий-ионных батарей, пригодных для повторного использования;

- проанализировать какие препятствия для повторного использования имеют место в настоящее время;
- определить основные мероприятия, способствующие повторному использованию литий-ионных батарей.

Материалы и методы

Литий-ионные тяговые аккумуляторы, известные своей высокой плотностью энергии и возможностью подзарядки, широко используются в различных областях применения, включая автомобили, системы общественного транспорта и портативную бытовую электронику. Технологические достижения в области этих аккумуляторов в значительной степени способствовали повышению практичности автомобилей за счет снижения затрат при одновременном увеличении дальности хода и производительности. Кроме того, использование этих аккумуляторов в общественном транспорте, таком как электробусы и трамваи, обеспечивает снижение локальных выбросов в городской черте [23]. Помимо автомобилей, литий-ионные аккумуляторы являются неотъемлемой частью множества других технологий, например, в сфере электроинструментов эти аккумуляторы питают различные портативные устройства, они незаменимы в медицинских приборах, автомобильной электронике и беспроводной связи, обеспечивая надежную работу в различных отраслях [2, 4, 5]. Компактные размеры и высокая плотность энергии литий-ионных аккумуляторов делают их особенно подходящими там, где вес и небольшие размеры имеют решающее значение.

По мере завершения жизненного цикла литий-ионных тяговых аккумуляторов их роль в экономике замкнутого цикла становится все более важной. Для извлечения ценных материалов из отработавших батарей используются такие методы переработки, как гидрометаллургические и пирометаллургические процессы [3]. Инновации в технологиях вторичной переработки направлены на повышение экономичности процесса утилизации аккумуляторов и обеспечение эффективной утилизации важнейших минералов, которые необходимы для производства новых аккумуляторов [6, 7, 24].

Повторное использование литий-ионных тяговых аккумуляторов, особенно в автомобилях (EV), сопряжено с многочисленными проблемами, которые необходимо решить, чтобы оптимизировать их потенциал в различных областях применения. Хотя повторное исполь-

зование батарей полезно для устойчивого развития, ресурсосбережения и снижения воздействия на окружающую среду, необходимо преодолеть ряд технических, экономических и нормативных препятствий.

Одной из основных технических проблем является ухудшение качества аккумуляторов с течением времени. Аккумуляторы, срок службы которых в электромобиле подошел к концу, как правило, теряют значительную часть своей емкости, которая составляет менее 80 % от первоначальной [11], причем деградация становится нелинейной, когда емкость батарей падает ниже 60...70 %, что усложняет оценку их оставшегося срока службы и эффективности при использовании в течение второго срока службы [9]. Усовершенствованные системы управления аккумуляторами могут помочь снизить износ, но требуют адаптации к конкретным типам и комплектам аккумуляторов для повышения их производительности и долговечности в процессе повторного использования [9, 12].

Экономические барьеры также препятствуют повторному использованию батарей. Стоимость повторного использования и утилизации батарей может быть высокой, при этом рынок вторичного использования батарей еще не полностью развит. Отсутствие установленных стандартов и типовой практики восстановления батарей может создать неопределенность для компаний, рассматривающих возможность инвестиций в технологии повторного использования батарей [13]. Кроме того, спрос на повторно используемые аккумуляторы может колебаться, что затрудняет обеспечение стабильного возврата инвестиций [14].

Результаты и обсуждение

Продолжающийся спор о преимуществах продления срока службы батарей за счет повторного использования и срочной необходимости их переработки показывает, насколько это является серьезной проблемой. Продление срока службы батарей может снизить потребность в срочной переработке и дать время для развития индустрии переработки, но при этом оно задерживает доступ к ценным материалам, которые имеют решающее значение для будущего производства [6, 9]. Устранение этого противоречия требует инновационных решений, чтобы сбалансировать преимущества повторного использования с потребностями перерабатывающей промышленности.

Повторное использование литий-ионных аккумуляторов является важным компонентом устойчивого управления ресурсами в рамках экономики замкнутого цикла, позволяющим увеличить срок службы

батарей и снизить воздействие на окружающую среду. Существуют различные стратегии повторного использования этих аккумуляторов, особенно после их первоначального использования в электромобилях.

Каскадная утилизация – это основной метод повторного использования отработавших батарей, которые все еще обладают значительной остаточной емкостью. Метод включает в себя тестирование, сортировку и повторную сборку батарей, чтобы убедиться в их пригодности для вторичного использования. Например, аккумуляторы, которые были выведены из эксплуатации в электромобилях, могут быть использованы в системах хранения энергии, тихоходных транспортно-технологических машинах, мобильном технологическом оборудовании или для различных промышленных применений, тем самым продлевая их срок службы [6, 15].

Прежде чем использованные аккумуляторы можно будет использовать повторно, им необходимо пройти ряд проверок для определения состояния и работоспособности (SoH). Первоначальные шаги включают визуальный осмотр на предмет повреждений, проверку возможностей зарядки и разрядки, а также всестороннюю оценку состояния аккумуляторных батарей. Это гарантирует, что батареи соответствуют необходимым стандартам безопасности в рамках нового применения, которое может значительно отличаться от первоначального. Безопасность имеет первостепенное значение при повторном использовании аккумуляторов [6, 15].

Несмотря на преимущества повторного использования батарей, остаются проблемы, связанные с поиском баланса между экономической целесообразностью повторного использования и выгодами от вторичной переработки. Внедрение инновационных технологий переработки потенциально может снизить спрос на сырье более чем на 50 %, тем самым превращая переработку в конкурентоспособную альтернативу повторному использованию в определенных сценариях [10, 16]. Кроме того, сложные цепочки поставок, связанные с транспортировкой и сортировкой отработавших батарей, требуют стратегических инвестиций для повышения операционной эффективности и прибыльности как при повторном использовании, так и при вторичной переработке [16, 17].

Экономическая целесообразность повторного использования литий-ионных аккумуляторов зависит от динамики затрат в период между покупкой аккумуляторов с истекшим сроком службы и приобретением новых аккумуляторов. Чтобы стимулировать использование

аккумуляторов с истекшим сроком службы, общая стоимость приобретения и ремонта этих батарей должна быть ниже, чем стоимость новых батарей [14, 20]. Исследования показывают, что затраты на перепрофилирование могут быть конкурентоспособными, а потенциальные затраты на системы второго срока службы оцениваются в диапазоне от 20 до 175 долларов за киловатт-час (кВт·ч) в зависимости от конкретного применения и рыночных условий [20]. Однако рынок аккумуляторов с истекшим сроком службы сталкивается с конкуренцией как со стороны продаж новых аккумуляторов, так и со стороны вариантов вторичной переработки. Привлекательность использования аккумуляторов с истекшим сроком службы зависит от различных факторов, включая остаточную емкость аккумулятора, его химический состав и прогнозируемый срок службы. Примечательно, что более длительный срок службы аккумуляторов с истекшим сроком службы коррелирует с более высокой экономической отдачей, что способствует их внедрению в различных областях применения [6, 20].

Переход к экономике замкнутого цикла за счет повторного использования аккумуляторов не только сохраняет ценность ценных материалов, но и стимулирует создание рабочих мест во многих секторах, от транспортировки и переработки отходов до управления энергопотреблением. Предполагается, что возможности трудоустройства могут возникнуть в результате процессов, связанных со сбором и восстановлением аккумуляторов с истекшим сроком службы, что будет способствовать развитию небольших специализированных сервисных предприятий. Tesla, например, утверждает, что перерабатывает 100 % своих аккумуляторов, демонстрируя приверженность экологичным практикам, которые могли бы послужить образцом для отрасли [20].

Общая энергоемкость аккумуляторов, доступных для вторичного использования, по прогнозам, значительно возрастет, потенциально превысив 100 ГВт·ч в год к 2030 году. Это открывает широкие возможности для инноваций и инвестиций в сектор повторного использования [6, 14]. Внедрение передовых систем управления аккумуляторами и технологий мониторинга состояния имеет решающее значение для максимального повышения эффективности повторного использования и обеспечения их надежности во вторичных приложениях.

Для решения проблем, связанных с утилизацией аккумуляторных батарей и восстановлением материалов, модель экономики замкнутого цикла предлагает две основные стратегии: переработку для получения

ценных металлов таких, как литий, кобальт и марганец, и перепрофилирование аккумуляторов для использования в качестве вторичных источников энергии для транспортно-технологических машин, технологического оборудования или стационарных систем хранения энергии. Эти стратегии играют решающую роль в минимизации отходов и обеспечении эффективного использования ценных ресурсов. Однако эти процессы по-прежнему сталкиваются со значительными препятствиями, включая материальные потери при восстановлении и необходимость дальнейшей переработки восстановленных материалов, чтобы сделать их пригодными для производства новых аккумуляторов.

В последнее время наблюдается тенденция к консолидации, поскольку производители оригинальных комплектующих для автомобильной промышленности проявляют все больший интерес к комплексным решениям по переработке отходов. Вертикально интегрированные предприятия по переработке отходов охватывают всю производственно-сбытовую цепочку, предоставляя полный спектр услуг от логистики по переработке аккумуляторных батарей до переработки металлов, используемых для изготовления аккумуляторов.

Заключение

Повторное использование литий-ионных тяговых аккумуляторов в рамках экономики замкнутого цикла в ближайшие годы получит значительное развитие благодаря технологическому прогрессу и нормативным инициативам. По мере роста спроса на электромобили, крайне важно разработать эффективные стратегии управления сроком службы этих аккумуляторов, чтобы смягчить воздействие на окружающую среду и повысить эффективность использования ресурсов.

Ожидается, что достижения в области аккумуляторных технологий, в частности разработка твердотельных аккумуляторов, сыграют ключевую роль в будущих тенденциях. Твердотельные аккумуляторы, в которых используются твердые электролиты вместо жидких, обещают повышенную безопасность, плотность энергии и долговечность по сравнению с традиционными литий-ионными батареями. Этот сдвиг может привести к пересмотру стандартов производительности электромобилей и снижению зависимости от ресурсоемкой литий-ионной химии. Кроме того, инновации в системах управления аккумуляторами призваны повысить эффективность и безопасность использования аккумуляторов, тем самым продлевая их срок службы. Оптимизация циклов зарядки и поддержание работоспособности батарей в ко-

нечном итоге сократит частоту их замены и связанное с этим воздействие на окружающую среду. Усовершенствованные системы управления аккумуляторами также будут способствовать повышению эффективности использования аккумуляторов в рамках новых областей применения, обеспечивая максимальную их ценность на протяжении всего жизненного цикла. Кроме этого, необходимо уделять приоритетное внимание модульной архитектуре аккумуляторных батарей, которая бы упрощала процессы разборки и восстановления. Такой подход соответствует принципам экономики замкнутого цикла, способствуя устойчивой практике производства и использования аккумуляторных батарей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Common Applications of Lithium-ion Battery Technology [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ufinebattery.com/blog/15-common-applications-of-lithium-ion-battery-technology/> (дата обращения 11 января 2025 года).
2. Митягин, Г. Е. Специфика использования литий-ионных аккумуляторных батарей и ее влияние на образование отходов / Г. Е. Митягин, М. К. Бисенов, В. С. Шейкин // Международный технический журнал. – 2023. – № 2(92). – С. 19-28. – DOI 10.34286/2949-4176-2023-92-2-19-28.
3. What Lithium Batteries Are Used for: 16 Common Applications [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.shieldenchannel.com/blogs/battery/what-uses-lithium-batteries> (дата обращения: 11 января 2025 года).
4. Zheng P, Young D, Yang T, Xiao Y and Li Z (2023) Powering battery sustainability: a review of the recent progress and evolving challenges in recycling lithium-ion batteries [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3389/fsrma.2023.112700> (дата обращения: 11 января 2025 года).
5. A Review of Lithium-Ion Battery Recycling: Technologies, Sustainability, and Open Issues / A. Zanoletti, E. Carena, C. Ferrara, E. Bontempi [Электронный ресурс] // Batteries. – 2024. – № 10(1), 38. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/batteries10010038> (дата обращения: 11 января 2025 года).
6. Lithium-ion battery second life: pathways, challenges and outlook [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3389/fchem.2024.1358417> (дата обращения: 11 января 2025 года).
7. Митягин, Г. Е. Вторичное использование агрегатов и узлов электромобилей / Г. Е. Митягин, М. К. Бисенов, В. С. Шейкин // Международный технический журнал. – 2024. – № 3(90). – С. 74-90.
8. Дидманидзе, О. Н. Пути развития транспортных энергоустановок / О. Н. Дидманидзе, С. А. Иванов. – М. : ООО «Триада», 2006. – 64 с. – ISBN 5-9546-0035-X.

9. Akram, M.N.; Abdul-Kader, W. Repurposing Second-Life EV Batteries to Advance Sustainable Development: A Comprehensive Review [Электронный ресурс] // Batteries. – 2024. – № 10, 452. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/batteries10120452> (дата обращения: 11 января 2025 года).
10. Chen, W.; Su, J.; Shen, L.; Gu, X.; Xie, J.; Sun, N.; Huang, H.; Ji, J. Optimization of Retired Lithium-Ion Battery Pack Reorganization and Recycling Using 3D Assessment Technology [Электронный ресурс] // Batteries. – 2024. – № 10, 376. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/batteries10110376> (дата обращения: 11 января 2025 года).
11. Повышение надежности и эффективности электростартерного пуска двигателей внутреннего сгорания при использовании UltraCap / О. Н. Дидманидзе, С. А. Иванов, Д. Г. Асадов, Г. Н. Смирнов // Объединенный научный журнал. – 2005. – № 1. – С. 42-48.
12. Electric Vehicle Battery Reuse and Recycling [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.advancedenergy.org/news/electric-vehicle-battery-reuse-and-recycling> (дата обращения: 11 января 2025 года).
13. Lithium-Ion Battery Recycling Frequently Asked Questions [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.epa.gov/hw/lithium-ion-battery-recycling-frequently-asked-questions> (дата обращения: 11 января 2025 года).
14. Meegoda, J.; Charbel, G.; Watts, D. Second Life of Used Lithium-Ion Batteries from Electric Vehicles in the USA [Электронный ресурс] // Environments. – 2024. – № 11, 97. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/environments11050097> (дата обращения: 11 января 2025 года).
15. Methods for Reusing Spent Lithium-Ion Batteries [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.guanmamachinery.com/methods-for-reusing-spent-lithium-ion-batteries/> (дата обращения: 11 января 2025 года).
16. Navigating Sustainability: Electric Vehicle Growth and Battery Recycling Opportunities [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nrria.com/navigating-sustainability-electric-vehicle-growth-and-battery-recycling-opportunities/> (дата обращения: 11 января 2025 года).
17. Startups Rolling Out New Battery Recycling Methods for EVs [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://evchargingsummit.com/blog/startups-rolling-out-new-battery-recycling-methods-for-evs/> (дата обращения: 11 января 2025 года).
18. Дидманидзе, О. Н. Срок службы аккумуляторных батарей электромобилей / О. Н. Дидманидзе, А. В. Фетисов, А. В. Строганов // Международный научный журнал. – 2011. – № 2. – С. 118-120..
19. Митягин, Г. Е. Проблемы и перспективы производства и эксплуатации электротранспортных средств в России / Г. Е. Митягин, О. П. Андреев, А. А. В. Рупасингхе // Международный технико-экономический журнал. – 2022. – № 2. – С. 33-44.
20. Митягин, Г. Е. Разработка технологического процесса разборки высоковольтной тяговой батареи электромобиля / Г. Е. Митягин, М. К. Бисенов // Международный технический журнал. – 2024. – № 1. – С. 24-35.

Об авторах:

Митягин Григорий Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», mityagin@rgau-msha.ru.

Бисенов Мурат Кылышбаевич, старший преподаватель, ОУ «Кызылординский открытый университет», bufernaya2022@mail.ru.

About the authors:

Grigory E. Mityagin, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, mityagin@rgau-msha.ru.

Murat K. Bisenov, Senior Lecturer, Kyzylorda Open University, bufernaya2022@mail.ru.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ АВТОТРАНСПОРТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИТ

**Д. А. Москвичев, Н. Н. Пуляев, Р. Н. Егоров, Д. М. Дудин,
Н. И. Дегтярев**

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Современные информационные технологии (ИТ) играют ключевую роль в совершенствовании систем навигации автотранспорта. В данной статье рассматриваются основные аспекты внедрения ИТ в навигационные системы, включая использование GPS, картографических сервисов, алгоритмов маршрутизации и анализа данных. Основное внимание уделяется тому, как эти технологии могут повысить безопасность, эффективность и удобство передвижения на автотранспорте.

Ключевые слова: система навигации, информационные технологии, автотранспорт, алгоритмы маршрутизации, анализ данных.

IMPROVEMENT OF VEHICLE NAVIGATION SYSTEM USING IT

**D. A. Moskvichev, N. N. Pulyaev, R. N. Egorov, D. M. Dudin,
N. I. Degtyarev**

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. Modern information technology (IT) technologies play a key role in improving vehicle navigation systems. This article discusses the main aspects of implementing IT in navigation systems, including the use of GPS, mapping services, routing algorithms, and data analysis. The focus is on how these technologies can improve the safety, efficiency, and convenience of traveling by motor vehicle.

Keywords: navigation system, information technology, vehicles, routing algorithms, data analysis.

Цель исследования

Цель данного исследования заключается в анализе возможностей совершенствования систем навигации автотранспорта с использованием информационных технологий. Исследование нацелено на выявление различных ИТ-решений, которые могут повысить

точность, безопасность и удобство навигации для пользователей автотранспорта.

Основная часть

Современные навигационные системы в основном основываются на глобальных навигационных спутниковых системах, таких как GPS и ГЛОНАСС. Эти технологии обеспечивают высокую точность определения местоположения и позволяют пользователям получать актуальную информацию о своем маршруте. Внедрение дополнительных спутниковых систем и технологий, таких как дифференциальная коррекция, может значительно повысить точность навигации, особенно в условиях городской застройки. Интерактивные картографические сервисы, такие как Google Maps и Яндекс.Карты, предоставляют пользователям актуальную информацию о дорожной ситуации, пробках и маршрутах. Эти сервисы используют алгоритмы машинного обучения для анализа данных о движении и предсказания загруженности дорог. Интеграция таких сервисов в навигационные системы позволяет пользователям выбирать оптимальные маршруты и избегать заторов, что значительно повышает эффективность передвижения. Схема системы навигации автотранспорта представлена на рисунке 1.

Рисунок 1 – Схема системы навигации автотранспорта

Совершенствование алгоритмов маршрутизации является важным аспектом навигационных систем. Использование современных методов, таких как алгоритмы A* и Dijkstra, позволяет находить наиболее эффективные маршруты с учетом различных факторов, таких как время в пути, расстояние и дорожные условия. Кроме того, внедрение адаптивных алгоритмов, которые могут изменять маршруты в реальном времени в зависимости от текущей ситуации на дороге, значительно улучшает качество навигации.

Анализ данных, собранных от пользователей навигационных систем, открывает новые возможности для оптимизации работы автотранспорта. Предсказательная аналитика позволяет выявлять шаблоны поведения водителей и прогнозировать дорожные ситуации, что может помочь в планировании маршрутов и улучшении обслуживания. Использование больших данных и машинного обучения для анализа трафика и поведения пользователей может привести к созданию более эффективных навигационных решений.

Заключение

Совершенствование систем навигации автотранспорта с использованием информационных технологий представляет собой важный шаг к повышению безопасности, эффективности и удобства передвижения. Внедрение GPS, интерактивных картографических сервисов, современных алгоритмов маршрутизации и анализа данных может значительно улучшить качество навигационных решений. Ожидается, что с развитием технологий в будущем навигационные системы станут еще более точными и адаптивными, отвечая требованиям современного общества и способствуя устойчивому развитию транспортной инфраструктуры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Косогорова, С. В. Применение беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве / С. В. Косогорова // Реинжиниринг и цифровая трансформация эксплуатации транспортно-технологических машин и робототехнических комплексов: Сборник статей Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 19-20 декабря 2023 года. – М. : Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2023. – С. 88-93.

2. Прибытко, В. Е. Основные направления использования беспилотных летательных аппаратов в агропромышленном комплексе / В. Е. Прибытко // Чтения академика В. Н. Болтинского: Сборник статей научно-практической конференции, посвященный 90-летию Шарова Николая Михайловича, Москва, 23-24 октября 2024 года. – М. : ООО «Сам Полиграфист», 2024. – С. 322-326.

3. Радайкина, Н. В. Перспективы использования аддитивных технологий в агропромышленном комплексе / Н. В. Радайкина, Д. А. Москвичев // Чтения академика В. Н. Болтинского : Сборник статей научно-практической конференции, посвященный 90-летию Шарова Николая Михайловича, Москва, 23-24 октября 2024 года. – М. : ООО «Сам Полиграфист», 2024. – С. 337-341.

4. Москвичев, Д. А. Особенности разработки компьютерной программы для систем управления тракторами сельскохозяйственного назначения на основе

искусственного интеллекта / Д. А. Москвичев, Р. Т. Хакимов // АгроЭкоИнженерия. – 2024. – № 4(121). – С. 29-37. – DOI 10.24412/2713-2641-2024-4121-29-37.

5. Москвичев, Д. А. Перспектива использования электромобиля в АПК / Д. А. Москвичев // Актуальные проблемы энергетики АПК в современной реальности: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной основателю факультета энергетики и электрификации Валентину Васильевичу Фокину, Ижевск, 15 мая 2024 года. – Ижевск: Удмуртский государственный аграрный университет, 2024. – С. 107-112.

6. Транспорт в агропромышленном комплексе : учебник / О. Н. Дидманидзе, Н. Н. Пуляев, А. А. Солнцев [и др.]. – М. : Российский государственный аграрный университет, 2024. – 474 с.

Об авторах:

Москвичев Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», moskvichev@rgau-msha.ru.

Пуляев Николай Николаевич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», pulyaev@rgau-msha.ru.

Егоров Роман Николаевич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», egorov@rgau-msha.ru.

Дудин Даниил Максимович, ассистент кафедры тракторов и автомобилей, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», d.dudin@rgau-msha.ru.

Дегтярев Никита Иванович, ассистент кафедры тракторов и автомобилей, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», n.degtyarev@rgau-msha.ru.

About the authors:

Dmitry A. Moskvichev, Cand.Sc. (Engineering), senior lecturer, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, moskvichev@rgau-msha.ru.

Nikolay N. Pulyaev, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, pulyaev@rgau-msha.ru.

Roman N. Egorov, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, egorov@rgau-msha.ru.

Daniil M. Dudin, assistant in Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, d.dudin@rgau-msha.ru.

Nikita I. Degtyarev, Assistant in Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, n.degtyarev@rgau-msha.ru.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАШИН

С. И. Некрасов, А. Ю. Фомин, А. С. Апатенко

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы использования методов функционального моделирования для повышения эффективности эксплуатации парка технологических машин. Рассматриваются ключевые направления улучшения эксплуатации: обновление парка машин, повышение качества обслуживания и эффективное распределение машин на производство работ. Основное внимание уделено повышению уровня технической эксплуатации путем изменения частных факторов, таких как ремонт и техническое обслуживание. Также рассматривается применение методологии IDEF0 для описания технологических систем и их компонентов. В статье представлены этапы разработки системы паспортизации элементов технологических систем, построения имитационной модели и разработки организационных мероприятий для оптимизации параметров технологических систем.

Ключевые слова: функциональное моделирование, техническая эксплуатация, обновление парка, распределение машин, эффективность, IDEF0, декомпозиция, имитационное моделирование, системная динамика, дискретно-событийное моделирование, агентное моделирование.

THE USE OF FUNCTIONAL MODELING METHODS IN SOLVING PROBLEMS OF INDUSTRIAL AND TECHNICAL OPERATION OF MACHINES

S. I. Nekrasov, A. Yu. Fomin, A. S. Apatenko

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper considers the use of functional modeling methods to improve the efficiency of a fleet of technological machines. Key areas of operational improvement include updating the fleet, improving service quality, and efficiently allocating machines for work. Main focus is on technical operations, such as repair and maintenance, to improve overall performance. IDEF0 is applied to describe the system and its components, and a system for certification of elements is developed, along with a simulation model and organizational measures to optimize parameters.

Keywords: *functional modeling, technical operation, fleet renewal, machine allocation, efficiency, IDEF0, decomposition, simulation modeling, system dynamics, discrete event modeling, agent-based modeling.*

В условиях современного развития агропромышленного комплекса и увеличения объемов работ, требуется внедрение новых методов и технологий, способствующих улучшению технического состояния машинного парка, снижению затрат на обслуживание и ремонт, а также оптимальному распределению машин на выполнение различных видов работ. Методы функционального моделирования, включая использование IDEF0, позволяют систематизировать процессы эксплуатации, улучшить организацию ремонтных и технических работ, а также повысить общую производительность труда. Это делает исследование особенно актуальным для предприятий, стремящихся к модернизации своих производственных процессов и увеличению конкурентоспособности на рынке.

Для повышения эффективности эксплуатации машин применяются следующие методы, представленные на рисунке 1.

Рисунок 1 – Методы повышения эффективности эксплуатации парка машин

Под эффективностью следует понимать свойство, которое проявляется через постановку задачи и определяется полученным результатом по отношению к запланированному, с количественной оценкой затраченных на решение задач ресурсов.

$$I = \sum_N \Pi_i \cdot 3 \cdot U_i$$

где I – суммарный доход от деятельности предприятия,
 N – количество технологических процессов,
 P_i – выделенные на производство работ средства,
 Z_i – затраты на реализацию работ,
 U_i – величина ущерба, вызванная срывом нормального хода производственного процесса.

Эффективность эксплуатации парка машин зависит от технической и производственной эксплуатации. Повышение технической эксплуатации парка машин производят за счет изменения частных факторов, которые изменяются за счет следующих мероприятий:

- значительных материальных затрат;
- повышения уровня организации ремонта и ТО;
- незначительных материальных затрат для повышения уровня организации ТО и ремонта.

Для повышения производственной эксплуатации стоит произвести системный анализ технологического процесса с точки зрения сложной динамической системы. В основном существует пять системных представлений при описании сложных систем: процессуальное, макроскопическое, иерархическое, функциональное и микроскопическое. Сочетания этих представлений позволяют описать технологическую систему любой сложности [1].

Общий вид имеет следующее описание:

$$S = t, c, x, q, y, \varphi, \beta,$$

где t – область временных периодов; c – множество возможных входных возмущений; x – набор мгновенных значений входных возмущений; q – множество состояний; y – набор значений выходных величин; φ – переходная функция состояния системы; β – отклик системы.

Методология функционального моделирования и графическая нотация IDEF0 предназначена для формализации и описания бизнес-процессов. Описание технологических систем подобно «черному ящику» с «входами», «выходами», «управлением» и «механизмом», который постепенно детализируется до необходимого уровня.

Построение имитационной модели технологических процессов включает сбор данных, разработку структуры модели, создание математического описания, программную реализацию и тестирование. Разработка организационных мероприятий оптимизации параметров технологических систем начинается с анализа текущего состояния, определения целей и критериев оптимизации, разработки плана действий и его реализации.

Рисунок 2 – I и II уровень декомпозиции технологической системы

База данных собирает полную информацию об используемой единице техники и создает массивы данных для записи результатов эксперимента с этой машиной и возможность ее редактирования. А также, основываясь на возрасте машины имеет возможность последовательно сохранять результаты с конкретно выбранной машиной без сброса значений на номинальные. На рисунке 3 представлено диалоговое окно работы модели.

Рисунок 3 – Результаты моделирования

Заключение

В заключении можно отметить, что использование методов функционального моделирования и имитационного подхода в решении задач производственно-технической эксплуатации машин является важным инструментом для повышения эффективности и оптимизации работы парка технологических машин. Данные методы позволяют глубже анализировать сложные системы, прогнозировать возможные проблемы и разрабатывать эффективные стратегии управления, что

способствует снижению затрат, повышению надежности и долговечности техники, а также улучшению общих экономических показателей предприятий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горохов, В. Г. Методологический анализ системотехники / В. Г. Горохов. – М.: Радио и связь, 1982. – 92 с.
2. Научно-аналитический обзор технологий ресурсосбережения при эксплуатации технических средств в АПК / А. С. Апатенко, И. Н. Кравченко, Н. С. Севрюгина [и др.]. – Саратов : Общество с ограниченной ответственностью «Амирит», 2023. – 152 с. – ISBN 978-5-00207-449-5.
3. Фомин, А. Ю. Выбор и обоснование методик обработки, оценка надёжности результатов экспериментов / А. Ю. Фомин, А. В. Лапаев, Э. Н. Халилов // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития : Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, Красноярск, 19-21 апреля 2022 года. Том Часть 2. – Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2022. – С. 131-134.
4. Modernizing Machines to Extend Their Life / I. G. Golubev, N. S. Sevryugina, A. S. Apatenko, A. Yu. Fomin // Russian Engineering Research. – 2023. – Vol. 43, No. 3. – P. 258-263. – DOI 10.3103/s1068798x23040111.
5. Фомин, А. Ю. Система управления устойчивостью полуприцепа / А. Ю. Фомин, А. С. Апатенко, Н. С. Севрюгина // Техника и оборудование для села. – 2022. – № 8(302). – С. 12-16. – DOI 10.33267/2072-9642-2022-8-12-16.
6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024667321 Российская Федерация. Сапфир 1.2 Программно-вычислительный комплекс загрузки транспортных средств : № 2024665968 : заявл. 09.07.2024 : опубл. 23.07.2024 / С. И. Некрасов, А. Ю. Фомин, А. С. Апатенко [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева».
7. Некрасов, С. И. Интегрирование технологии функционального моделирования, как элемента оптимизации бизнес-процесса АПК / С. И. Некрасов, В. И. Горностаев // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях : Материалы X Международной научно-практической конференции, Саратов, 16–17 мая 2023 года. – Саратов : Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, 2023. – С. 660-665.
8. Горностаев, В. И. Повышение эффективности эксплуатации парка машин в природообустройстве с помощью информационно-экспертных систем : специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Горностаев Владислав Игоревич. – Москва, 2018. – 202 с.

9. Дидманидзе, О. Н. Основы оптимального проектирования машинно-тракторных агрегатов / О. Н. Дидманидзе, Р. Н. Егоров. – М. : Учебно-методический центр «Триада», 2017. – 230 с.

Об авторах:

Некрасов Сергей Игоревич, ассистент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», sergej.nekrasov@rgau-msha.ru.

Фомин Александр Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», a.fomin@rgau-msha.ru.

Апатенко Алексей Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технического сервиса машин и оборудования, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», a.apatenko@rgau-msha.ru.

About the authors:

Sergey I. Nekrasov, Assistant, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, sergei.nekrasov@rgau-msha.ru.

Alexander Yu. Fomin, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, a.fomin@rgau-msha.ru.

Alexey S. Apatenko, D.Sc. (Engineering), professor, Head of Department of Mechanical Engineering and Power Engineering, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, a.apatenko@rgau-msha.ru.

КОНТРОЛЬ ПОВЕРХНОСТИ ИЗНОШЕННОГО ВАЛА СОЕДИНЕНИЯ ВАЛ-МАНЖЕТА

Г. А. Нестеркин

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В статье показано, что контроль износа вала под манжету должен осуществляться не простым микрометром, а микрометром со специальными вставками или микрометром с острыми наконечниками, причем контроль необходимо проводить в двух плоскостях.

Ключевые слова: контроль, резиновая армированная манжета, износ вала под манжету, микрометр со специальными вставками.

INSPECTION OF THE SURFACE OF THE WORN SHAFT OF THE SHAFT-CUFF CONNECTION

G. A. Nesterkin

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. The article shows that to control the wear of the shaft under the cuff, it should be carried out not with a simple micrometer, but with a micrometer with special inserts or a micrometer with sharp tips, and the control must be carried out in two planes.

Keywords: control, reinforced rubber cuff, wear of the shaft under the cuff, micrometer with special inserts.

Обеспечение качества ремонта машин для АПК – достаточно сложная задача [1-3], так как в последнее время стала выпускаться новая отечественная техника, в которой используются посадки высокой точности, где квалитеты на размеры деталей назначаются и выполняются на технологическом оборудовании в пределах IT4...IT6, причем это справедливо для посадок как с зазорами [4, 5], так и с натягами [6, 7]. В свою очередь, повышение точности посадок и, соответственно деталей, требует определенных затрат на более точные средства измерений, испытаний и контроля [8, 9]. При ремонте новой техники необходимо исследовать возникающие дефекты [10], а также определять потенциальные потери [11].

Одним из важнейших соединений в сельскохозяйственной технике является соединение вала с манжетой [12, 13]. От надежности

данного соединения зависит надежность сборочной единицы в целом [14]. Параметры точности этого соединения обеспечиваются величинами натягов манжеты на вал, которые заложены конструктором в соответствии с требованиями стандартов.

В коробке передач двигателя ЯМЗ допуск на наружный диаметр вала составляет 0,12 мм, а допуск отверстий для манжет – 1 мм (таблица 1). Это позволяет сделать вывод о том, что валы могут быть обработаны до полного устранения следов износа при сохранении тех же параметров точности и твердости.

Таблица 1 – Параметры точности валов и манжет 1.2–52×72–8 соединения «вал-уплотнение»

М р яе ого диамет а	Номинальный раз- мер с отклонени-	Допуск, мм	Размер предельно до- пустимый без ремонта,
Вал	52 _{-0,12}	0,12	51,7
Отверстие манжеты	$\square_{2,0}$ $\square_{3,0}$	1,0	*

* при ремонте все манжеты заменяются на новые

Поверхность вала имеет твердость HRC 30–50, что достигается закалкой токами высокой частоты на глубину 1,5...2 мм. При ремонте вала необходимо устранить следы износа путем операции шлифования. Также следует учесть и припуск, который формируется при другом базировании детали.

Износ поверхности вала под манжету обычно равномерный по всей площади контакта, и имеет вид узкой полоски, рисунок 1. Перемещение поверхности вала относительно манжеты оказывает самое существенное влияние на процесс изнашивания, и чем больше отклонение от соосности или радиальное биение вала, тем больше будет величина износа, а абразив в зоне трения значительно ухудшает проблему.

Применение универсальных средств измерений с плоскими наконечниками здесь невозможно. Чтобы выявить действительный размер и величину износа вала в данном месте, необходимо использовать микрометр со специальными вставками, рисунок 2.

Также может быть использован комплект вставок для микрометра МВМ которые применяются для контроля метрической резьбы, рисунок 3.

Рисунок 1 – Износ поверхности вала под манжету

Рисунок 2 – Микрометр со специальными вставками

Рисунок 3 – Комплект вставок для микрометра МВМ

Также можно использовать микрометры с острыми наконечниками, рисунок 4.

Рисунок 4 – Микрометр с острыми наконечниками

Изношенный вал следует контролировать по внешнему диаметру по двум взаимно перпендикулярным плоскостям S1 и S2, рисунок 5.

Рисунок 5 – Измеряемые плоскости при контроле изношенного элемента вала под манжету

Таким образом, контроль износа вала под манжету необходимо осуществлять не простым микрометром, а микрометром со специальными вставками или микрометром с острыми наконечниками, причем контроль необходимо проводить в двух плоскостях и определять наибольшее и среднее значение износа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Производство и ремонт отечественных машин для агропромышленного комплекса с позиции принципа 5М / М. Н. Ерохин [и др.] // Вестник машиностроения. – 2023. – Т. 102, № 8. – С. 701-704.
2. Основы проектирования операций входного контроля на машиностроительных предприятиях / Г. И. Бондарева, О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба [и др.]. – М. : ООО «ОнтоПринт», 2020. – 89 с.
3. Проектирование и анализ качества контрольных процессов на ремонтных предприятиях / Г. И. Бондарева, О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба [и др.]. – М. : ООО «ОнтоПринт», 2020. – 95 с.
4. Расчет допуска посадки с зазором для повышения относительной износостойкости соединений / О. А. Леонов [и др.] // Трение и износ. – 2023. – Т. 44, № 3. – С. 261-269.

5. Леонов О. А., Шкаруба Н. Ж., Вергазова Ю. Г. Определение предельных функциональных зазоров подшипника скольжения в условиях гидродинамической смазки // Трение и износ. – 2024. – Т. 45, № 4. – С. 327-334.
6. Обоснование посадок соединений со шпонками / О. А. Леонов [и др.] // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2022. – № 6. – С. 65-71.
7. Расчет посадок соединений упругих втулочно-пальцевых муфт с валами / О. А. Леонов [и др.] // Вестник машиностроения. – 2023. – Т. 102, № 2. – С. 96-101.
8. Леонов О. А., Шкаруба Н. Ж. Нормирование погрешности косвенных измерений при приёмо-сдаточных испытаниях двигателей // Измерительная техника. – 2022. – № 8. – С. 23-27.
9. Методика оценки брака: процесс контроля коренных шеек коленчатых валов в ремонтном производстве / Г. Н. Темасова [и др.] // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25, № 6. – С. 39-45.
10. Инструментальный контроль дефектов коренных опор блока цилиндров / О. А. Леонов [и др.] // Агроинженерия. – 2024. – Т. 26, № 2. – С. 65-70.
11. Оценка и анализ внутренних потерь при производстве продукции на машиностроительных предприятиях / О. А. Леонов [и др.] // Вестник машиностроения. – 2023. – Т. 102, № 5. – С. 421-426.
12. Методика комплектования деталей соединений «Вал-уплотнение» при ремонте / О. А. Леонов [и др.] // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25, № 4. – С. 70-75.
13. Нестеркин, Г. А. Выбор рационального способа восстановления деталей // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2008. – № 12. – С. 53-54.
14. Дидманидзе О. Н., Парлюк Е. П., Пуляев Н. Н. Основы работоспособности и надежность технических систем. – М. : Изд-во «Триада», 2020. – 232 с.

Об авторе:

Нестеркин Геннадий Алексеевич, преподаватель, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», metr@rgau-msha.ru.

About the author:

Gennady A. Nesterkin, lecturer, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, metr@rgau-msha.ru.

КИНЕМАТИКА КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА ВСТРЕЧНО-ПОРШНЕВОГО ТИПА В ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЯХ ЯКОБИ

А. Е. Павлов, Д. В. Анашин

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

***Аннотация.** В работе рассматривается кинематика кривошипно-шатунного механизма со встречным движением поршней. Поршни движутся в общем цилиндре и имеют общую камеру сгорания. Показано, что задача о движении кривошипно-ползунного механизма, наряду с прикладными задачами колебаний произвольной амплитуды и вращения волчков, естественно задаётся в классе двоякопериодических комплексных функций. Описаны движения точек звеньев механизма в эллиптических функциях Якоби.*

***Ключевые слова:** дезаксиальные и аксиальные кривошипно-шатунные механизмы, шатунные траектории, центры масс точек шатуна.*

KINEMATICS OF A COUNTER-PISTON CRANK MECHANISM IN ELLIPTICAL JACOBI FUNCTIONS

A. E. Pavlov, D. V. Anashin

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

***Abstract.** The article examines the kinematics of a crank mechanism with oncoming movement of pistons. The pistons move in a common cylinder and have a common combustion chamber. It is shown that the problem of motion of a crank-slider mechanism, along with the applied problems of oscillations of arbitrary amplitude and rotation of tops, is naturally set in the class of two-periodic complex functions. The movements of the points of the links of the mechanism in the elliptic Jacobi functions are described.*

***Keywords:** deaxial and axial crank mechanisms, connecting rod trajectories, centroids of connecting rod points.*

Введение

Кривошипно-шатунные механизмы нашли широкое применение в гидро- и пневмоустройствах, а также в двигателях внутреннего сгорания. При рассмотрении кинематики кривошипно-шатунного механизма, как правило, изучаются движения звеньев вне зависимости

от сил, вызывающих движение [1]. Кинематический анализ кривошипно-шатунного механизма позволяет найти закономерности движения деталей в устройстве при известном законе движения коленчатого вала. Однако, в учебной литературе, например в работе [2], при рассмотрении теории движения механизмов принято разложение нелинейных функций в ряд до первого порядка. В статье обосновывается описание движения кривошипно-шатунных механизмов эллиптическими функциями.

Цель исследований – нахождение функций для правильного представления движения звеньев кривошипно-шатунного механизма и описания движения кривошипно-шатунных механизмов эллиптическими функциями Якоби.

Материалы и методы

В работе применяются эллиптические функции, которые были введены в теорию аналитических функций Абелем и Якоби, они представляются наиболее удобными для описания кинематики механизма.

Результаты и обсуждение

Механизм встречно-поршневого двигателя представлен на рисунке 1.

Рисунок 1 – Механизм встречно-поршневого двигателя

Рассмотрим кривошипно-шатунный механизм (рисунок 2).

Рисунок 2 – Кривошипно-шатунный механизм

На рисунке: r – радиус кривошипа, l – длина шатуна. Центр O на оси кривошипа возьмем за начало координат, а прямую, вдоль которой перемещается поршень, назовём осью Ox . Прямоугольная система координат Oxy на рисунке неподвижна.

С шатуном свяжем подвижную систему координат $O_1\xi\eta$, в которой прямая линия $O_1\xi$ проходит через ось шатуна. Координаты точки M шатуна, связанные со стойкой $M(x,y)$, выражаются через координаты точки, связанные с шатуном $M(\xi,\eta)$ аффинным преобразованием. Каждое преобразование из этой группы определяется матрицей A ортогонального поворота вокруг точки O_1 с последующей трансляцией начала координат:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \beta & \sin \beta \\ -\sin \beta & \cos \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \xi \\ \eta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos \alpha \\ \sin \alpha \end{pmatrix}$$

Из треугольника ΔOOK находим связь между углами поворотов α и β :

$$\sin \beta = \frac{r}{l} \sin \alpha = k \sin \alpha \quad (2)$$

$k \equiv r/l$ – параметр, меньший или равный единице.

При описании движения точек шатуна кривошипно-шатунного механизма традиционно используются тригонометрические функции. Система имеет одну степень свободы, поэтому можно в качестве обобщенной координаты использовать угол поворота кривошипа α , а угол β выразить из (2): $\beta = \arcsin(k \sin \alpha)$. Однако, как мы далее показываем, естественнее работать в эллиптических функциях Якоби [1], не используя обратные тригонометрические функции. В двоякопериодических функциях комплексного времени решаются задачи, имеющие прикладное значение, такие как колебания физического маятника произвольно большой амплитуды, вращение волчков [2].

Примем эллиптический интеграл первого рода по Лежандру $F(\alpha)$ за новую обобщённую координату задачи

$$u := \int_0^\alpha \frac{d\varphi}{1 - k^2 \sin^2 \varphi} \equiv F \alpha$$

где k – модуль эллиптического интеграла. Она является функцией верхнего предела интеграла, функцией угла поворота α .

Тогда угол α будет нести смысл амплитуды введенного параметра u : $\alpha = \alpha m(u)$. При полном повороте кривошипа вокруг своей оси угол α

меняется от 0 до 2π . Тогда аргумент u меняется (согласно определению 3) от 0 до $4K$, где K – полный эллиптический интеграл первого рода:

$$K := \int_0^{\pi/2} \frac{1}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}} d\varphi$$

Эллиптические функции являются обратными к неполным эллиптическим интегралам. Явные зависимости тригонометрических функций углов α и β от обобщенной координаты u следующие:

$$\begin{aligned} \sin \alpha &= \operatorname{sn} u, \quad \cos \alpha = \operatorname{cn} u, \quad \sin \beta = k \cdot \operatorname{sn} u, \\ \cos \beta &= \sqrt{1 - k^2 \operatorname{sn}^2(u)} = \operatorname{dn}(u). \end{aligned} \quad (4)$$

Тригонометрические функции углов заменяются на эллиптические функции Якоби одного аргумента u . Формула преобразования примет вид:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \xi \\ \operatorname{cn}(u) \\ \eta \\ \operatorname{sn}(u) \end{pmatrix} \text{ Матрица перехода } A \equiv \begin{pmatrix} \sqrt{1 - (k \cdot \operatorname{sn}(u) + q)^2} & (k \cdot \operatorname{sn}(u) + q) \\ (k \cdot \operatorname{sn}(u) + q)^2 & \sqrt{1 - (k \cdot \operatorname{sn}(u) + q)^2} \end{pmatrix}$$

в формуле является ортогональной, с детерминантом равным единице, поскольку эллиптические функции удовлетворяют тождеству:

$$\operatorname{dn}^2(u) + k^2 \operatorname{sn}^2(u) \equiv 1.$$

Выбрав произвольную точку $M(\xi, \eta)$ шатуна, получаем функцию ее абсолютных координат $x = x(u)$, $y = y(u)$ от аргумента u (5). Точки шатуна вычерчивают алгебраические кривые четвертого порядка в плоскости Oxy [3].

Формулы перехода от подвижной системы координат к неподвижной:

$$\begin{pmatrix} \xi \\ \eta \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + r A \begin{pmatrix} \operatorname{cn}(u) \\ \operatorname{sn}(u) \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Вычислим скорость точки M в абсолютной системе координат, продифференцировав матричное выражение (5) по времени. Производная матрицы A по времени равна:

$$\frac{dA}{dt} = -k \cdot \operatorname{cn}(u) \cdot \operatorname{dn}(u) \frac{dB}{dt}. \quad (7)$$

Здесь была введена ортогональная матрица:

$$\left(\frac{k \cdot \text{sd}(u)}{1} \right) \cdot \text{sd}(u)$$

эллиптическая функция Якоби $\text{sd}(u)$, выражающаяся через определяющие функции [4]

$$\text{sd}(u) := \text{dn}(u)$$

и применены правила дифференцирования функций Якоби по времени [4]:

$$\frac{d}{du} \text{sn}(u) = \text{cn}(u) \cdot \text{dn}(u),$$

$$\frac{d}{du} \text{cn}(u) = -\text{sn}(u) \cdot \text{dn}(u),$$

$$\frac{d}{du} \text{dn}(u) = -k^2 \text{sn}(u) \cdot \text{cn}(u)$$

Продифференцируем первую формулу в (4), связывающую тригонометрический синус с эллиптическим синусом, по времени и получим:

$$\cos \alpha \frac{d}{dt} = \text{cn}(u) \cdot \text{dn}(u) \frac{d}{du}.$$

Остаётся применить вторую формулу в (4), связывающую тригонометрический косинус с эллиптическим косинусом, ввести угловую скорость шатуна $\omega = \alpha'$, и получим связь между производными

$$\omega = \text{dn}(u) \frac{d}{du} \quad (9)$$

Тогда формула для производной матрицы A по времени (7) принимает следующий вид:

$$\frac{d}{dt} A = -k \cdot \omega \cdot \text{cn}(u) \hat{\quad} \quad (10)$$

Окончательно, продифференцировав (5) по времени, находим скорости точек шатуна

$$\begin{pmatrix} v_x \\ v_y \end{pmatrix} = -k \cdot \omega \cdot \text{cn}(u) \begin{pmatrix} \xi \\ \eta \end{pmatrix} + r \cdot \omega \begin{pmatrix} -\text{sn}(u) \\ \text{cn}(u) \end{pmatrix} \quad (11)$$

Теперь, зная скорости точек шатуна (11) и формулы обратного преобразования (6), получаются формулы центроид шатуна [3]:

$$x_p = l \cdot k \cdot \text{cn}(u) + \text{dn}(u), \quad y_p = l \cdot \text{sn}(u) \cdot k + \text{dc}(u),$$

где использована эллиптическая функция [4]

$$dc(u) := \frac{du}{cn(u)}$$

Найдём ускорения точек шатуна, продифференцировав скорости точек (11) по времени

$$\begin{pmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -k\omega^2 \operatorname{sn} u \\ B(\xi) \end{pmatrix} = k \cdot \omega \cdot \operatorname{cd} u \begin{pmatrix} dB(\xi) \\ r\omega^2 \operatorname{cn}(u) \end{pmatrix}.$$

Производная матрицы B (8) по времени равна:

$$\frac{dB}{du} = k \cdot \operatorname{cn}(u) (1 + k^2 \operatorname{sd}^2(u)) E, \quad (12)$$

где E – единичная матрица. При выводе формул мы полагали, что кривошип вращается равномерно $\omega = \text{const}$.

Кинематика поршней встречно-поршневого двигателя

Рассмотрим движение поршня (рисунок 2). Приращение координаты ползуна задаётся выражением:

$$\Delta x = r + l - r \cos \alpha + r \cos \beta = r(1 - \cos \alpha) + l(1 - \cos \beta). \quad (13)$$

Отсюда находим скорость движения ползуна

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{dx}{d\beta} \frac{d\beta}{dt} = \omega (r \sin \alpha + l \sin \beta) \frac{d\beta}{dt}. \quad (14)$$

Из связи между углами (2) находим производную

$$\frac{d\alpha}{d\beta} = k \frac{\operatorname{os} \beta}{\operatorname{cn} \beta},$$

подставив которую в (14), получаем искомую формулу для скорости ползуна

$$v = r \cdot \omega \frac{\sin \beta}{\cos \beta}. \quad (15)$$

Перепишем полученную формулу для скорости в эллиптических функциях Якоби

$$v = r \cdot \omega \cdot \operatorname{sd}(u) \operatorname{dn}(u) + k \cdot \operatorname{cn}(u). \quad (16)$$

Формула для ускорения ползуна находится дифференцированием (15) по времени

$$\alpha = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{d\beta} \frac{d\beta}{dt} = r\omega^2 \left(\frac{\cos \beta}{\cos^2 \beta} + \beta \right) + k \cos^2 \alpha. \quad (17)$$

Тогда ускорение шатуна в эллиптических функциях Якоби:

$$\alpha = \operatorname{dn}(u) \left(\operatorname{cn}(u) \operatorname{dn}(u) + k \left(\operatorname{sn}^2(u) + \operatorname{cd}^2 \right. \right.$$

$\left. \left. \left. (u) \right) \right) \right) \text{ где}$

$$\operatorname{cd}(u) := \operatorname{dn}(u)$$

Выводы

В статье обосновывается предпочтительность в описании движения кривошипно-шатунных механизмов эллиптическими функциями. В настоящее время использование высших трансцендентных функций в инженерных задачах закономерно, оперировать с ними не менее удобно, чем и с элементарными функциями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ахиезер, Н. И. Элементы теории эллиптических функций / Н. И. Ахиезер. – М. : Наука, 1970. – 304 с.
2. Павлов, А. Е. Эллиптические функции в задачах теоретической механики / А. Е. Павлов, Л. А. Павлова. – Ижевск : Изд-во ИжГСХА, 2007. – 132 с.
3. Павлов, А. Е. Кинематика дезаксиального кривошипно-ползунного механизма в эллиптических функциях Якоби / А. Е. Павлов, Л. А. Павлова // Вестник МГАУ. – 2017. – № 2. – С. 30-34.
4. Уиттекер, Э. Т. Курс современного анализа. Трансцендентные функции / Э. Т. Уиттекер, Дж. Н. Ватсон. – М. : УРСС, 2010. – 560 с.
5. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. – М. : Изд-во Наука, 1988. – 640 с.
6. Патент № 2184864 С1 Российская Федерация, МПК F02В 75/28. двигатель внутреннего сгорания : № 2001120080/06 : заявл. 20.07.2001 : опубл. 10.07.2002 / Д. В. Анашин.
7. Гоц, А. Н. Кинематика и динамика кривошипно-шатунного механизма поршневых двигателей / А. Н. Гоц. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2014. – 142 с.
8. Прасолов, В. В. Эллиптические функции и алгебраические уравнения / В. В. Прасолов, Ю. П. Соловьёв. – М. : Факториал, 1997. – 288 с.

Об авторах:

Павлов Александр Егорович, доктор физико-математических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», alexpavlov60@mail.ru.

Анашин Дмитрий Викторович, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», anashin@rgau-msha.ru.

About the authors:

Alexander E. Pavlov, D.Sc. (Physics and Mathematics), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, alexpavlov60@mail.ru.

Dmitry V. Anashin, senior lecturer, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, anashin@rgau-msha.ru.

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПО ДАВЛЕНИЮ НАДДУВА

Я. Д. Павлов, С. Н. Девянин

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Рассмотрен способ оценки технического состояния двигателя трактора на основе данных о давлении наддува, полученных через CAN-шину трактора. Произведен расчёт эксплуатационных показателей трактора при изменении состояния системы наддува. Проведены расчеты изменения экономической эффективности, выполняемых трактором работ и их влияние на себестоимость продукции.

Ключевые слова: ДВС, трактор, диагностика, наддув, эксплуатация.

ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF AN ENGINE BY BOOST PRESSURE

Ya. D. Pavlov, S. N. Devyanin

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. A method for assessing the technical condition of a tractor engine based on data on boost pressure received via the tractor CAN bus is considered. The performance indicators of the tractor were calculated when the state of the pressurization system changed. Calculations of changes in the economic efficiency of the work performed by the tractor and their impact on the cost of production were carried out.

Keywords: engine, tractor, diagnostics, supercharging, operation.

В настоящее время остро стоит вопрос обеспечения продовольственной безопасности страны. В связи с этим предъявляются высокие требования к сельскохозяйственной технике и срокам проведения работ. Снижение эффективности работы двигателя приводит к уменьшению производительности агрегатов, снижению качества произведенных работ. В связи с этим увеличиваются сроки проведения работ, и они не укладываются в агротехнические сроки, что приводит к увеличению потерь урожая, снижению его качества. В конечном итоге все это приводит к увеличению себестоимости продукции, что в условиях рыночной экономики вызывает снижение прибыли производителя. Таким образом важно контролировать техническое состояние двигателя

сельскохозяйственных машин, так как это является одним из факторов снижения затрат на производство продукции [5].

На большинстве современных тракторов и комбайнов устанавливаются двигатели с электронным управлением. В данную систему входят датчики, исполнительные механизмы, блок управления и шины данных, для передачи информации между электронными блоками управления [1]. Одним из параметров, по которым можно оценить техническое состояние двигателя, является давление наддува. Блок управления двигателем передает по CAN-шине данные о давлении наддува, а также ряд других показателей. Таким образом, получив характеристику наддува исправного двигателя, и сравнивая её с полученными с шины значениями, можно сделать выводы о техническом состоянии двигателя [6]. Также техническое состояние можно отслеживать по удельному расходу топлива [4], но для этого необходимо дополнительное устройство – расходомер топлива.

На основе теплового расчета двигателя и тягового расчета трактора получены скорости, на которых достигается номинальное тяговое усилие при различных значениях отклонения давления наддува. Эти данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Тяговый расчет

Давление наддува	МПа	0,28	0,26	0,24	0,22	0,2	0,18
Эффективная мощность	кВт	155	153	150	148	145	142
Номинальное тяговое усилие	кН	40	40	40	40	40	40
Максимальная крюковая мощность	кВт	92	91	89,4	87,9	85,6	82,5
Удельный крюковой расход топлива	г/кВтч	414	417	421	423	427	431
Скорость движения	м/с	2,30	2,28	2,24	2,20	2,14	2,06

Из расчетов видно, что снижение давления наддува ведет к снижению мощности двигателя, что в свою очередь вызывает снижение скорости, на которой достигается номинальное тяговое усилие. В результате снижается производительность агрегата. Расчеты проводились для трактора Terrior ATM 4200 в паре с 5-ти корпусным плугом Lemken EurOpal 9. Результаты экономического расчета представлены

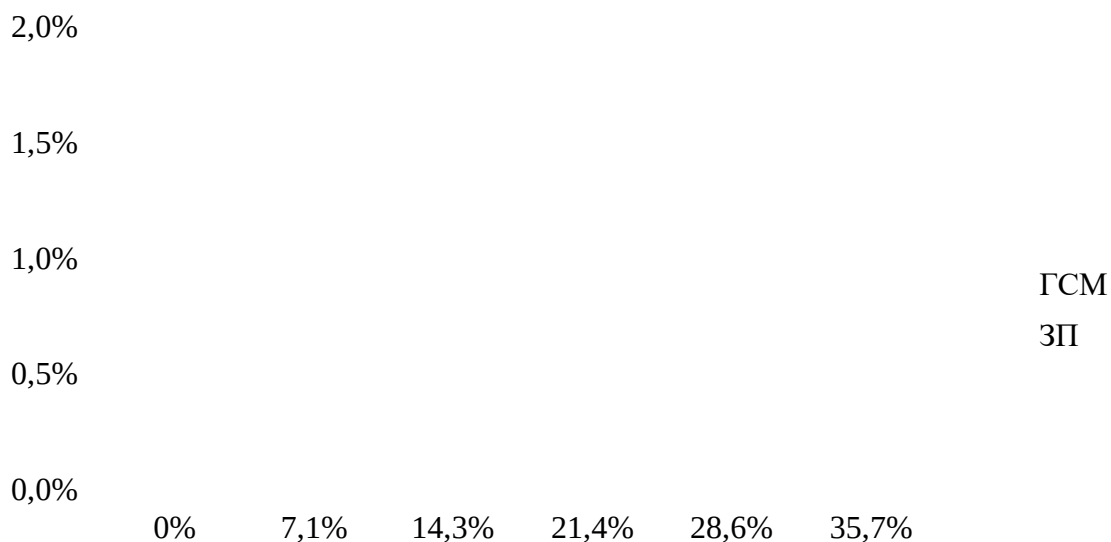
в таблице 2 [2, 3]. Расчеты проведены на основе средних значений по РФ. Площадь пахоты 1000 га.

Таблица 2 – Экономический расчет

Показатель	Нормальные условия	Изменение показателя				
Давление наддува	0,28	0,26	0,24	0,22	0,2	0,18
Снижение, %	0%	7,1%	14,3%	21,4%	28,6%	35,7%
Скорость, м/с	2,3	2,28	2,24	2,2	2,14	2,06
Снижение, %	0%	0,87%	2,61%	4,35%	6,96%	10,43%
Часовая производительность, га/ч	2,070	2,052	2,016	1,980	1,926	1,854
Снижение, %	0%	0,87%	2,61%	4,35%	6,96%	10,43%
Сменная производительность, га/смена	14,076	13,954	13,709	13,464	13,097	12,607
Снижение, %	0%	0,87%	2,61%	4,35%	6,96%	10,43%
Удельный расход топлива, кг/га	18,94	19,10	19,44	19,80	20,35	21,14
Увеличение, %	0%	0,88%	2,68%	4,55%	7,48%	11,65%
Удельные затраты на топливо, руб./га	1586	1600	1628	1658	1704	1770
Увеличение, %	0%	0,88%	2,68%	4,55%	7,48%	11,65%
Доля затрат на топливо в себестоимости, %	17%	17,15%	17,46%	17,77%	18,27%	18,98%
Увеличение, %	0%	0,15%	0,46%	0,77%	1,27%	1,98%
Расход топлива на вспашку, кг	18937,20	19103,31	19444,44	19797,98	20353,06	21143,47
Увеличение, %	0%	0,88%	2,68%	4,55%	7,48%	11,65%
Затраты на топливо на вспашку, руб.	1585705	1599615	1628179	1657783	1704263	1770447
Увеличение, %	0	13910	42474	72078	118557	184742
Время на обработку, чел.ч	483,09	487,33	496,03	505,05	519,21	539,37
Увеличение, %	0%	0,88%	2,68%	4,55%	7,48%	11,65%
Удельные затраты времени, чел.ч/га	0,483	0,487	0,496	0,505	0,519	0,539
Увеличение, %	0%	0,88%	2,68%	4,55%	7,48%	11,65%
Доля затрат на ЗП в себестоимости, %	16%	16,14%	16,43%	16,73%	17,20%	17,86%
Увеличение, %	0%	0,14%	0,43%	0,73%	1,20%	1,86%
Увеличение затрат, %	0%	0,29%	0,88%	1,50%	2,47%	3,84%

На основе полученных данных, можно сделать вывод о том, что даже незначительное снижение давления наддува приводит к сниже-

нию производительности, увеличению сроков проведения работ и себестоимости продукции. Так снижение давления наддува с 0,28 до 0,18 МПа приводит к снижению скорости движения с 2,3 до 2,06 м/с, и производительности с 2,07 до 1,85 га/ч – на 10,43 %. В свою очередь это приводит к увеличению удельного расхода топлива с 18,94 до 21,14 кг/га, что достигает 11,65 %, увеличению времени обработки на 11,65 %, что приводит к увеличению затрат на заработную плату, и снижению урожайности, так как работы выполнены не в оптимальные сроки, а с задержками. Из данных таблицы можно сделать вывод, что на обработку полей в 1000 га потребуется дополнительно 56,28 чел.ч, что составляет более 8 рабочих смен. В конечном итоге это приводит к увеличению затрат на производство продукции и её себестоимости на 3,84 %.



Снижение давления наддува
Рисунок 1 – Изменение затрат на ГСМ и ЗП

На рисунке 1 представлен график изменения затрат на ГСМ и ЗП от изменения давления наддува. Из графика видна нелинейная зависимость изменения этих параметров. Так при снижении давления наддува на 7,1 % затраты на ГСМ и ЗП увеличиваются на 0,15 % и 0,14 % соответственно, а при снижении давления наддува на 35,7 % – на 1,98 % и 1,86 % соответственно.

Одним из факторов, вызывающих снижение давления наддува, может выступать засоренность воздушного фильтра и его несвоевре-

менное обслуживание. На тракторе существует штатный датчик засоренности фильтра, но он срабатывает при более высоких значениях, на которых увеличение затрат будет еще больше.

Таким образом, для снижения потерь необходимо контролировать показатели, характеризующие техническое состояние двигателя. Это приведет не только к снижению затрат на производство, но и повышению качества продукции и её конкурентоспособности. В данной статье рассмотрено только изменение затрат на ГСМ и ЗП, которые составили 3,84 %, но не учитывались затраты за счет снижения урожайности. Таким образом суммарное увеличение себестоимости продукции будет еще больше.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павлов, Я. Д. Способы получения данных о работе трактора через диагностический разъем / Я. Д. Павлов // Чтения академика В. Н. Болтинского, Москва, 25-26 января 2022 года. Том Часть 2. – М. : ООО «Сам полиграфист», 2022. – С. 172-181.
2. Рыкова, И. Н. Оценка себестоимости и рентабельности производства пшеницы в Российской Федерации / И. Н. Рыкова, А. А. Юрьева, В. А. Морица // Вестник НГИЭИ. – 2022. – № 8(135). – С. 87-103. – DOI 10.24412/2227-9407-2022-8-87-103.
3. Павленко, И. В. Анализ эффективности производства зерна в сельскохозяйственном производственном кооперативе / И. В. Павленко // Островские чтения. – 2017. – № 1. – С. 246-251.
4. Параметрическая характеристика двигателя трактора по удельному расходу топлива / С. Н. Девянин, А. В. Бижаев, Я. Д. Павлов [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2023. – Т. 17, № 4. – С. 68-74. – DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-4-68-74.
5. Использование индивидуального привода колес трактора посредством электрической тяги / А. В. Бижаев, С. М. Ветрова, А. С. Барчукова, Н. С. Кривых // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2024. – Т. 18, №2. – С. 78-85.
6. Павлов, Я. Д. Использование давления наддува для оценки технического состояния ДВС / Я. Д. Павлов // Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича : сборник статей, Москва, 03-05 июня 2024 года. – М. : Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2024. – С. 625-627.
7. Evaluation of energy-economic parameters of tractor with electrically driven power unit / A. V. Bizhaev, N. S. Devyanin, V. L. Chumakov [et al.] // E3S Web of Conferences : II International Conference on Environmental Technologies and Engineering for Sustainable Development (ETESD-II 2023), Tashkent, 13-15 сентября

2023 года. Vol. 443. – Tashkent: EDP Sciences, 2023. – P. 03004. – DOI 10.1051/e3sconf/202344303004.

8. Devyanin, S. N. Influence of Method of Adding Water to Combustible Mixture on Diesel Engine Performance / S. N. Devyanin, A. V. Bigaev, V. A. Markov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Tomsk, 04-06 декабря 2017 года. Vol. 327. – Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 022024. – DOI 10.1088/1757-899X/327/2/022024.

9. Дидманидзе, О. Н. Основы работоспособности и надежность технических систем / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев. – М. : Учебно-методический центр «Триада», 2020. – 232 с.

10. Оценка технического состояния машины по данным ее системы управления / В. И. Трухачев, О. Н. Дидманидзе, С. Н. Девянин, Н. Н. Пуляев // Чтения академика В. Н. Болтинского : семинар, Москва, 20-21 января 2021 года. – М. : Общество с ограниченной ответственностью «Сам Полиграфист», 2021. – С. 10-19.

Об авторах:

Павлов Ярослав Дмитриевич, ассистент кафедры тракторов и автомобилей, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», ya.pavlov@rgau-msha.ru.

Девянин Сергей Николаевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», s.devyanin@rgau-msha.ru.

About the authors:

Yaroslav D. Pavlov, assistant of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, ya.pavlov@rgau-msha.ru.

Sergey N. Devyanin, D.Sc. (Engineering), professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, s.devyanin@rgau-msha.ru.

ОБОСНОВАНИЕ РЕШЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ СЖИЖЕННЫХ И СЖАТЫХ ГАЗОВ НА КРУПНОТОННАЖНОМ АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ

С. В. Першина, А. В. Шутарев

ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова», г. Пермь, Российская Федерация

Аннотация. В статье представлены результаты анализа современного состояния проблемы газификации и газоснабжения транспортных средств в мире и в России; рассмотрены различные технико-технологические решения автомобильных газовых систем и предложена комбинированная газовая система питания для грузовых крупнотоннажных автомобилей, работающих на сжиженном природном газе (СПГ) и компримированном природном газе (КПГ) при совершении дальних междугородних и международных рейсов; доказаны технологическая, экологическая и экономическая эффективности предлагаемого решения.

Ключевые слова: автомобиль с комбинированной системой питания, автомобильный транспорт, сжиженный природный газ, компримированный природный газ, СПГ, КПГ, АГЗС, АГНКС.

JUSTIFICATION OF THE DECISION TO USE COMBINED SYSTEMS OF LIQUEFIED AND COMPRESSED GASES IN LARGE-CAPACITY ROAD TRANSPORT

S. V. Pershina, A. V. Shutarev

Perm State Agro-Technological University named after academician D.N. Prianishnikov, Perm, Russian Federation

Abstract. The article presents the results of the analysis of the current state of the problem of gasification and gas supply of vehicles in the world and in Russia; various technical and technological solutions for automobile gas systems are considered and a combined gas supply system for heavy-duty trucks running on liquefied natural gas (LNG) and compressed natural gas (CNG) is proposed for long-distance intercity and international trips; technological, environmental and economic efficiency of the proposed solution are proven.

Keywords: vehicle with a combined fuel system, road transport, liquefied natural gas, compressed natural gas, liquefied natural gas, compressed natural gas, automobile gas filling station, automotive gas filling compressor station.

Развитие энергетических рынков характеризуется рядом существенных изменений, связанных с процессами глобализации, декарбонизации, геополитики, развитием возобновляемых источников энергии и цифровых технологий. Следствием этих процессов стало увеличение доли природного газа в мировом энергопотреблении с 15 % в 1965 году до почти 25 % в 2024 году. Эксперты предполагают, что к 2035 году доля газа возрастет до 26 % [1]. Это стало возможным благодаря все более широкому применению альтернативных видов топлива в автомобильном транспорте.

Цель исследования заключается в обосновании решения по созданию результативного и экологически чистого двухтопливного автомобиля, работающего на КПП и СПГ.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи: изучить мировой опыт использования КПП и СПГ в качестве моторного топлива и сопоставить эффективность и экологичность использования КПП и СПГ; обосновать принципиальную схему системы двухтопливного автомобиля, работающего на СПГ и КПП; оценить эффективность внедрения новых технологий.

Научная новизна исследования заключается в поиске и разработке уникального решения применения двухтопливной системы для крупнотоннажных автомобилей, которая предполагает процессы использования СПГ и КПП. Это позволит не только увеличить эффективность работы двигателя, но и улучшить его экологические характеристики, повысить экономическую эффективность эксплуатации транспортного средства. В ходе исследования предложены новые технические решения, которые предлагается внедрить в уже существующие модели автомобилей, а также разработаны рекомендации по их эксплуатации.

Исследования выполнены на основе изучения научной, технической и нормативно-правовой литературы по изучаемой проблеме [1-6 и др.], анализа статистических данных и экспертных оценок, моделирования. Применение такого комплексного подхода позволило глубже понять текущее состояние и перспективы использования КПП и СПГ, а также оценить их влияние на окружающую среду и экономику.

Результаты проведенного исследования позволяют сделать выводы о достаточно широком применении, востребованности и потенциале использования газового топлива в транспортной системе.

Во многих странах мира сформировалась тенденция использования СПГ на крупнотоннажных грузовиках и автобусах большой вместимости для междугороднего сообщения и в связи с этим начато или намечено: освоение и развитие промышленного производства крупнотоннажных газовых грузовиков и туристических газовых автобусов большой вместимости; создание заводов средней мощности по производству СПГ производительностью 500...600 тыс. тонн в год (Китай, США и др.); создание мини-заводов по производству СПГ производительностью 10...20 тыс. тонн в год на АГНКС и ГРС (Россия); использование хранилищ СПГ отгрузочных и приемных прибрежных терминалов в качестве источника поставки СПГ на криоавтозаправочные станции (Испания, Португалия, Франция, Италия, Швеция и др.); создание более эффективного оборудования для КриоАЗС: криогенных насосов, регазификаторов, криогенных емкостей и др. (США, Германия, Франция, Россия и в других странах), расширение сети КриоАЗС для заправки автотранспорта в первую очередь привозным СПГ [4, 5].

Перспективность применения в России сжиженного природного газа для транспорта и автономной газификации (включая регазифицированный СПГ) определяются следующими его потребительскими свойствами [3-5]: высокая экологическая безопасность (сокращение выбросов оксидов азота на 85...90 %; серы – на 100 %, парниковых газов – на 15...20 %); развитая газотранспортная система (протяженность магистральных газопроводов ОАО «Газпром» составляет 161,7 тыс. км, протяженность всех распределительных газопроводов – 750 тыс. км, газифицированы природным газом 39 000 населенных пунктов); доступная розничная цена (50 % от цены дизельного топлива); приемлемая энергетическая эффективность (удельное энергопотребление криогенного насоса минимум на 10 % меньше, чем у компрессора аналогичной производительности); высокая скорость заправки автомобилей сжиженным природным газом (до 200 л в минуту); более высокая энергетическая емкость, обеспечивающая больший пробег на одну заправку (сосуд высокого давления в 200 атм. вместимостью 50 л содержит до 10 м^3 природного газа, криобак для СПГ той же вместимости содержит 29 м^3 метана); широкий спектр потребителей, позволяющий создавать логистические центры (хабы для автомобилей, судов, локомотивов, автономной газификации); продолжающееся развитие мировой инфраструктуры СПГ; высокая мобильность, маневренность и географическая адаптивность комплексов малотоннажного производства и использования СПГ; универсальность

технологического оборудования для любых категорий потребителей; продолжающееся расширение спектра транспортных средств, использующих СПГ; высокая степень освоения криогенных технологий.

В России есть все предпосылки для организации широкомаштабного малотоннажного производства и внедрения СПГ в первую очередь для транспорта: железнодорожного, авиационного, водного и автомобильного. Для организации такого производства СПГ по всей стране надо в первую очередь использовать мощные АГНКС, ГРС и заводы СПГ.

В качестве первоочередной задачи следует считать создание междугородней и международной системы газоснабжения СПГ и КПП крупнотоннажных грузовиков и автобусов большой пассажиремкости, совершающих средние (до 500 км), дальние (до 1000 км) и сверхдальние (свыше 1000 км) рейсы [4, 5].

На основе системного анализа результатов проведенных исследований, технологических разработок, изучения оборудования, газотранспортной техники и газозаправочного оборудования в области производства и использования природного газа (СПГ и КПП) в качестве газомоторного топлива на автомобильном транспорте доработана технологическая схема газовой системы двухтопливного крупнотоннажного автомобиля с увеличенным запасом хода (рисунок 1) [4-6]. Схема предполагает наличие системы хранения и подачи как сжиженного, так и сжатого природного газа в двигатель транспортного средства. Схема включает криогенный баллон 1; трубопровод 2, соединенный с баллоном 1 и с устройством заправки баллона 1 сжиженным природным газом (на рисунке не показано) через обратный клапан 3 и входной кран 4; трубопровод 5 подачи сжиженного газа через испаритель 6, оснащенный предохранительным клапаном 7, запорным краном 8 и обратным клапаном 9, соединенный с трубопроводом 10, по которому газообразный газ поступает в двигатель транспортного средства; баллон 11 для сжатого газа высокого давления; трубопровод 12, соединенный с баллоном 11 и с устройством заправки баллона 11 сжатым природным газом высокого давления 20...32 МПа (на рисунке 1 не показано) через обратный клапан 13 и выходной кран 14; трубопроводы 15 подачи сжатого газа в баллон 1 и баллон 11, оснащенный манометром 16 со сбросным краном 17, запорным краном 18, редуктором газа 19 и предохранительным клапаном 20, соединенный с криогенным баллоном 1 через запорный кран 21 и с трубопроводом подачи газообразного газа 10 в двигатель через запорный кран 22 и обратный клапан

23. Описанная система работает следующим образом. Для заправки криогенного баллона 1 сжиженным природным газом трубопровод 2 присоединяют к гибкому рукаву заправочного пункта или станции (на рисунке 1 не показано). Краны 8 и 21 закрывают, а кран 4 открывают. После окончания заправки баллона 1 газом кран 4 закрывают. Для заправки баллона 11 компримированным природным газом высокого давления трубопровод 12 присоединяют к гибкому рукаву заправочного пункта или станции.

Рисунок 1 – Схема газовой системы двухтопливного автомобиля, работающего на СПГ и КПГ [4]

Кран 18 закрывают, а кран 14 открывают. После окончания заправки баллона 11 газом высокого давления, кран 14 закрывают. Система может осуществлять подачу природного газа в двигатель или из криогенного газового баллона 1, или из газового баллона 11 высокого давления. Для подачи сжиженного природного газа в двигатель через испаритель 6 открывают вначале кран 8, а затем краны 18 и 21. Поступающий из баллона 11 по газопроводу 15 через открытый кран 18, редуктор 19 и открытый кран 21 в баллон 1 газ сниженный до 1,0 МПа давления начинает вытеснять сжиженный газ через испаритель 6 к двигателю. После полного израсходования сжиженного газа криогенный баллон 1 закрывают кранами 8 и 21. При необходимости для дальнейшей работы двигателя используют сжатый газ из баллона 11. Для подачи сжатого газа в двигатель открывают кран 22.

Возможны варианты организации подачи в двигатель транспортного средства только сжиженного газа или только сжатого газа в зависимости от наличия тех или иных заправок по пути следования транспорта.

На основе разработанной технологической схемы были определены местоположения газовых баллонов и криобаков, их количество и другие параметры седельного тягача, работающего на КПГ и СПГ.

Реализация предлагаемой схемы двухтопливной системы хранения и подачи газа в двигатель транспортного средства позволит: обеспечить необходимую дальность пробега (запас хода) транспортных средств, особенно в условиях редкой сети заправочных станций и уменьшить количество рейсовых заправок; уменьшить потери рабочего времени водителя на заправки газовым топливом; обеспечить высокую гибкость и маневренность грузоперевозок за счет увеличения запаса хода; снизить расходы на сооружение, обслуживание и ремонт системы.

Особенно важно отметить, что в предлагаемой технологической схеме газовой системы крупнотоннажного двухтопливного автомобиля, КПГ является не только вторым наряду с СПГ топливом, но он еще выполняет и технологическую функцию, а именно: вытесняет СПГ из автомобильного криобака в подкапотную газовую систему и тем самым исключает необходимость в крионасосе с приводом. В результате в данной схеме реализуется универсальный принцип по формуле: «не вместо, а наряду». Использование СПГ наряду с КПГ позволяет получить ряд ранее отмеченных преимуществ в сравнении с СПГ или КПГ в отдельности. В настоящее время данная система двухтопливного автомобиля передана конструкторскому бюро ОАО «КАМАЗ» для дальнейшей совместной разработки конструкторско-технологической документации и создания первого опытного образца.

Выполненные экономические расчеты доказывают, что внедрение разработанной двухтопливной системы на автомобиль крупной тоннажности приводит к увеличению его стоимости на 2,3 млн руб., однако снижение эксплуатационных расходов на топливо (при текущем уровне цен) почти в 2 раза позволяет окупить дополнительные капитальные вложения менее чем за 1,8 года.

Оценивая экологическую эффективность разработанного решения, следует отметить, что по сравнению с дизельным топливом, использование двухтопливной газовой системы, имеет на 15 % меньшие

выбросы CO₂, на 70 % – NO₂, на 90 % – бензапирена и на 99 % – твердых частиц [2]. Таким образом, внедрение разработанного решения позволит значительно снизить вредные выбросы в окружающую среду и улучшить экологическую ситуацию в России и мире.

Таким образом, внедрение предлагаемой двухтопливной системы крупнотоннажного автомобиля, работающего на СПГ и КПП, является важным шагом к созданию более эффективной, устойчивой и более экологичной автомобильной промышленности. Это решение отвечает современным требованиям и запросам, и его осуществление может стать значительным вкладом в борьбу с климатическими изменениями и улучшением качества воздуха в городах, повышению эффективности экономики транспортной отрасли и страны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рынок КПП: мировой опыт развития и уроки для России. ООО Эрнст энд Янг – оценка и консультационные услуги [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-cng-marketworld-development-experience-and-lessons-for-russia/\\$File/ey-cng-market-world-development-experience-and-lessons-for-russia.pdf/](https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-cng-marketworld-development-experience-and-lessons-for-russia/$File/ey-cng-market-world-development-experience-and-lessons-for-russia.pdf/) (дата обращения: 10.02.2022).
2. Мировой рынок СПГ. Структурные особенности и прогноз развития [Электронный ресурс] // Neftegaz.RU. – 2023. – № 2. – Режим доступа: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/rynok/769892-mirovoy-rynok-spg-strukturnye-osobennosti-i-prognoz-razvitiya/> (дата обращения 07.03.2023).
3. Пронин, Е. Н. Перспективы СПГ на транспорте / Е. Н. Пронин // Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – № 2. – С. 47.
4. Перспективы создания нового поколения грузовых газомоторных автомобилей / Я. С. Мкртычан, Р. Р. Батыршин, С. В. Люгай, Д. В. Селиванов // Транспорт на альтернативном топливе. – 2013. – № 5. – С. 60-65.
5. Шаихов, Р. Ф. Перспективы применения газового топлива на автомобильном транспорте / Р. Ф. Шаихов // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2023. – Т. 1. – С. 109-111.
6. Шаихов, Р. Ф. Технические требования при установке газобаллонного оборудования / Р. Ф. Шаихов // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2023. – Т. 1. – С. 106-108.
7. Дидманидзе, О. Н. Исследования показателей тепловыделения газовых двигателей / О. Н. Дидманидзе, А. С. Афанасьев, Р. Т. Хакимов // Записки Горного института. – 2018. – Т. 229. – С. 50-55. – DOI 10.25515/PMI.2018.1.50.
8. Дидманидзе, О. Н. Современный уровень развития двигателей с газомоторной и электрической силовой установками на транспортно-тяговых средствах / О. Н. Дидманидзе, А. С. Гузалов, Н. А. Большаков // Международный технико-экономический журнал. – 2019. – № 4. – С. 52-59. – DOI 10.34286/1995-4646-2019-67-4-52-59.

Об авторах:

Першина Светлана Витальевна, кандидат экономических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова», pershina11@rambler.ru.

Шутарев Алексей Викторович, магистрант, ФГБОУ «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова», mvwind@mail.ru.

About the authors:

Svetlana V. Pershina, Cand.Sc. (Economic), associate professor, Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Prianishnikov, pershina11@rambler.ru.

Alexey V. Shutarev, master's student, Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Prianishnikov, mvwind@mail.ru.

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ КАК СПОСОБ ЗАЩИТЫ ТЕХНИКИ ОТ КОРРОЗИОННОГО РАЗРУШЕНИЯ

А. М. Пикина

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Проблема дефицита новых отечественных противокоррозионных материалов с высокими защитными свойствами, встала особенно остро в связи с введением санкций против Российской Федерации. Многие высокоэффективные защитные материалы перестали поступать в РФ из стран ЕС, в связи с чем встала под угрозу возможность выпуска ряда продукции.

Ключевые слова: наноматериалы, коррозионное разрушение, ингибитор, сельскохозяйственная техника.

THE USE OF NANOMATERIALS AS A WAY TO PROTECT MACHINERY FROM CORROSION DAMAGE

A. M. Pikina

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. The problem of the shortage of new domestic anticorrosive materials with high protective properties has become particularly acute due to the imposition of sanctions against the Russian Federation. Many highly effective protective materials have stopped coming to Russia from EU countries, and therefore the possibility of producing a number of products has been jeopardized.

Keywords: nanomaterials, corrosion destruction, inhibitor, agricultural machinery.

Среди различных классов ингибиторов наиболее перспективными являются летучие ингибиторы коррозии. Их применение оправдано в случае наличия возможности хотя бы частичной изоляции защищаемого пространства. Указанные ингибиторы адсорбируются на поверхности металла и обеспечивают надежную защиту изделия. Пары ингибитора проникают в щели и зазоры, недоступные контактными ингибиторами, обеспечивают торможение коррозионных процессов под слоями продуктов коррозии и отложений.

Антикоррозионные свойства ингибиторов определяли при ускоренных испытаниях. Оценку защитной способности определяли

гравиметрическим методом, после чего были рассчитаны скорость коррозии, степень защиты и коэффициент торможения.

Образцы ингибиторов коррозии ЛИК, поместили в чашки Петри (концентрация ингибитора в резервуаре составила 150 г/м^3). Испытательный сосуд с ингибитором коррозии выдерживали в течение 3 дней при комнатной температуре, чтобы обеспечивать полную адсорбцию ингибитора коррозии на поверхности испытуемых образцов. Контрольные образцы были обработаны аналогично образцам с ингибитором коррозии, но в сосуд с ингибитором не помещались.

Относительную влажность в испытательном сосуде поддерживали на уровне $98 \pm 2 \%$ путем добавления на дно сосуда 10% раствора глицерина в дистиллированной воде в соотношении $1/100$ объема сосуда. Эксперимент проводили в 15 последовательных циклов, каждый цикл тестирования длился 24 часа. В течение первых 10 часов каждого цикла испытательную камеру нагревали в течение 3 часов от комнатной температуры ($25 \pm 2^\circ\text{C}$) до $40 \pm 2^\circ\text{C}$ и выдерживали при этой температуре в течение 7 часов. Затем испытательную камеру охлаждали до комнатной температуры ($25 \pm 2^\circ\text{C}$) в течение 3 часов и выдерживали при этой температуре в течение следующих 11 часов, чтобы влага из резервуара конденсировалась на испытуемом образце.

Повышенные антикоррозионные свойства ди(аминоэтанол)бората ЛИК-с, по сравнению с аддуктом ЛИК-а, аминоксанолаборатом ЛИК-б и чистым этаноламином ЛИК-е можно объяснить тем, что первый имеет в молекуле две аминоксанола группы, способные образовать хелатный комплекс с ионом металла. Это позволяет молекулам ЛИК-с более прочно удерживаться на поверхности образца, в то время как молекулы ЛИК-а, б, е имеют только одну аминоксанола группу, что делает их комплексы с ионами металлов менее устойчивыми. Следует заметить, что молекулы три(аминоэтанол)бората ЛИК-д имеют три аминоксанола группы, однако, данный ингибитор не проявляет самых лучших антикоррозионных свойств, что обусловлено геометрией молекулы. Атом бора в своих соединениях проявляет sp^2 -гибридизацию, что соответствует геометрии плоского треугольника. Углы между связями В-О составляют 120° , что стерически затрудняет участие в комплексообразовании третьей аминоксанола группы. Кроме того, появление в борате третьего радикала увеличивает массу молекулы и уменьшает ее летучесть, что может приводить к недостаточному насыщению поверхности металла молекулами ингибитора.

При проведении сравнительного анализа полученных данных можно заключить, что увеличение защитных свойств наблюдается при использовании в качестве ингибитора продукта взаимодействия этаноламина и борной кислоты в мольном соотношении 2:1. Наилучший защитный эффект данный ингибитор показывает для образцов из стали, наихудший – из меди.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Использование наноматериалов в качестве присадок к маслам для уменьшения трения в трибосопряжениях / С. М. Гайдар, В. Н. Свечников, А. Ю. Усманов, М. И. Иванов // Техника и оборудование для села. – 2013. – № 1. – С. 35-37.
2. Кононенко, А. С. Адгезионная прочность герметиков и нанокomпозиций на их основе / А. С. Кононенко, С. М. Гайдар // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2011. – № 6. – С. 38-42.
3. Гайдар, С. М. Перспективы применения нанотехнологий в двигателестроении / С. М. Гайдар, А. Г. Чумаков // Авиационно-космическая техника и технология. – 2009. – № 10 (67). – С. 12-16.
4. Effect of quenching and tempering on structure and mechanical properties of a low-alloy 0.25C steel / E. Tkachev, S. Borisov, A. Belyakov [et al.] // Materials Science and Engineering: A. – 2023. – Vol. 868. – P. 144757. – DOI 10.1016/j.msea.2023.144757.
5. Methodology and results of comparative atmospheric tests of experimental conservation composition / A. E. Shlykov, E. B. Mironov, S. M. Gaidar [et al.] // Bio web of conferences : International Scientific-Practical Conference «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources» (FIES 2019), Kazan, 13-14 ноября 2019 года. – EDP Sciences: EDP Sciences, 2020. – P. 00258.
6. Impact of operational factors on environmental safety of internal combustion engines / S. Gaidar, M. Karelina, A. Laguzin, H. D. Quang // Transportation Research Procedia : 14, Saint Petersburg, 21-24 октября 2020 года. – Saint Petersburg, 2020. – P. 136-144. – DOI 10.1016/j.trpro.2020.10.017.
7. Tempering Behavior of Novel Low-Alloy High-Strength Steel / V. Dudko, D. Yuzbekova, S. Gaidar [et al.] // Metals. – 2022. – Vol. 12, No. 12. – P. 2177. – DOI 10.3390/met12122177.
8. Оценка методов подачи спирта в цилиндры дизельного двигателя экспериментальной установкой / С. М. Гайдар, Д. А. Пикин, Я. Д. Павлов [и др.] // Агроинженерия. – 2022. – Т. 24, № 2. – С. 71-75. – DOI 10.26897/2687-1149-2022-2-71-75.
9. Патент на полезную модель № 206682 U1 Российская Федерация, МПК F01M 9/02. Устройство для обогащения масла системы смазки легирующим элементом цветного металла : № 2021115224 : заявл. 27.05.2021 : опубл. 22.09.2021 / С. М. Гайдар, Н. А. Ф. Наджи, В. Е. Коноплев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева».

10. Прогнозирование фрикционно-износных характеристик трибосистем с использованием физического моделирования контактного взаимодействия подвижных соединений / С. М. Гайдар, А. Б. Лагузин, А. Г. Пастухов, А. М. Пикина // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2021. – № 2(30). – С. 98-107.

Об авторе:

Пикина Анна Михайловна, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», techmash@rgau-msha.ru.

About the author:

Anna M. Pikina, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, techmash@rgau-msha.ru.

ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ КОМБИНИРОВАННОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО КАТКА

В. П. Пляка, М. А. Щекин

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Рассмотрены вопросы, связанные с методикой испытаний почвообрабатывающего катка. Представлены рекомендации для сравнительных испытаний пруткового и комбинированного катков в почвенном канале. Показаны особенности конструкции комбинированного почвообрабатывающего катка. Приведены основные параметры, влияющие на рабочий процесс комбинированного почвообрабатывающего катка.

Ключевые слова: ведущий каток, ведомый каток, пруток, крошение почвы, планетарный редуктор.

RESEARCH FEATURES OF THE COMBINED TILLAGE ROLLER

V. P. Plyaka, M. A. Shchekin

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. The issues related to the testing methodology of the tillage roller are considered. Recommendations for comparative tests of rod and combined rollers in a soil channel are presented. The design features of a combined tillage roller are shown. The main parameters affecting the workflow of a combined tillage roller are given.

Keywords: driving roller, driven roller, rod, soil crumbling, planetary gear.

Введение

Прикатывание, как прием обработки почвы, включает в себя боронование, выравнивание и частичное перемешивание почвы. Но главное в этом приеме все же уплотнение почвы, которое заключается в изменении взаимного расположения почвенных частиц с уменьшением объема почвы. При более высокой плотности лучше контакт семян с почвой, что способствует лучшему увлажнению семян. При более высокой влажности и температуре верхнего слоя почвы процессы прорастания семян происходит быстрее. При этом более экономно расходуются питательные вещества семени. Всходы появляются быстрее, они более дружные и сильные [1-4].

Цель и задачи исследования

Целью работы являлось выявление наиболее значимых параметров комбинированного катка для повышения качества обработки почвы.

Материалы и методы исследования

Для исследований в почвенном канале РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева были изготовлены два варианта пруткового катка. Предлагаемые конструкции почвообрабатывающих катков разработаны и сделаны в лаборатории кафедры «Механизация сельского хозяйства» Института механики и энергетики имени В. П. Горячкина РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева в сотрудничестве с Центром технологической поддержки образования [5-7].

Для первого варианта катка предложена обычная конструкция пруткового почвообрабатывающего катка. При движении катка по полю, он получает вращательное движение от соприкосновения прутков с почвой. За счет веса катка прутки внедряются в почву и происходит резание, разрушение комков почвы с одновременным их смещением, рыхлением микрорельефа поля.

Второй вариант катка состоит из ведущего и ведомого катков (рисунок 1). При движении почвообрабатывающего катка по полю, ведущий каток 1 получает вращательное движение от соприкосновения с почвой прутков 5 и через планетарный редуктор 4 вызывает вращение соединенного с ним ведомого катка 2. Система закрепления водила планетарного редуктора 4 обеспечивает вращение ведомого катка 2 в противоположную сторону относительно ведущего катка 1 [8, 9].

Характеристика комбинированного катка представлена в таблице.

Таблица 1 – Характеристика комбинированного катка

№ п/п	Наименование	Параметры
1	Ширина захвата, м	0,5
2	Диаметр ведущего катка по осям прутков, м	0,28
3	Диаметр ведомого катка по осям прутков, м	0,215; 0,245; 0,26
4	Масса катка, кг	11,3
5	Передаточное отношение редуктора	0,4
6	Количество прутков ведущего катка, шт.	8
7	Количество прутков ведомого катка, шт.	4
8	Расстояние между прутками ведущего катка, м	0,105

Рисунок 1 – Комбинированный почвообрабатывающий каток:

1 – ведущий каток; 2 – ведомый каток; 3 – ось; 4 – планетарный редуктор; 5 и 6 – прутки; 7 – рама

Ведомый каток 2 вращается с большей скоростью, чем ведущий 1, но во встречном направлении. Почвенная часть, которая находится под действием почвообрабатывающего катка, подвергается многократным ударам со стороны упругих прутков 6 ведомого катка 2. Встречное вращение ведущего катка 1 и ведомого катка 2 повышает силу удара по комочкам почвы и улучшает показатель крошения почвы [10, 11].

Результаты исследования и выводы

Катки отличаются друг от друга тем, что один является обычным прутковым катком, а другой сконструирован как комбинация ведущего и ведомого катка.

Все варианты катков адаптированы по ширине захвата для прохождения в почвенном канале шириной один метр. Зазор между прутками ведущего и ведомого катков, на наш взгляд, будет одним из важнейших параметров при исследовании. За счёт раздвижных лучей дисков ведомого катка подготовлены следующие зазоры: 30 мм; 15 мм и 7 мм. Скоростной режим работы катка позволит установить наиболее благоприятное передаточное отношение планетарного редуктора. На качество работы катка, безусловно, будет влиять коэффициент скольжения. Принимая во внимание то, что вращение ведущего катка про-

исходит за счёт контакта прутков с почвой, требуются дополнительные усилия на привод ведомого катка. Следовательно, ожидается повышение коэффициента скольжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дидманидзе, О. Н. Лабораторно-полевые испытания экспериментальной сеялки для сплошного посева газонных трав: определение показателей качества / О. Н. Дидманидзе, В. И. Пляка // Агроинженерия. – 2024. – Т. 26, № 6. – С. 44-48.
2. Оценка равномерности распределения семян экспериментальной сеялкой: сплошной высев газонных трав / В. И. Пляка, А. А. Большаков, Н. А. Сергеева, К. А. Смирнов // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25, № 6. – С. 24-30.
3. Пляка, В. И. Проверка показателей неравномерности и неустойчивости общего высева экспериментальной сеялки для газонных трав / В. И. Пляка, Н. А. Сергеева // Техника и оборудование для села. – 2023. – №12 (318). – С. 24-27.
4. Патент на полезную модель № 227259 U1 Российская Федерация, МПК А01В 29/02. Прикатывающий каток сеялки : № 2024110348 : заявл. 16.04.2024 : опубл. 12.07.2024 / В. И. Пляка, С. М. Михайличенко, К. А. Смирнов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева».
5. Авторское свидетельство № 1276270 А1 СССР, МПК А01В 29/04. Почвообрабатывающий каток : № 3909333 : заявл. 10.04.1985 : опубл. 15.12.1986 / Ю. А. Виноградов, Ю. В. Шутов, Ю. И. Матяшин [и др.] ; заявитель Научно-исследовательский и проектно-технологический институт жидких удобрений.
6. Патент на полезную модель № 215975 U1 Российская Федерация, МПК А01В 29/04, А01В 29/06. Почвообрабатывающий каток : № 2022124714 : заявл. 20.09.2022 : опубл. 11.01.2023 / В. И. Пляка, С. П. Казанцев ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева».
7. Патент на полезную модель № 209650 U1 Российская Федерация, МПК А01В 29/04. Почвообрабатывающий каток : № 2021134659 : заявл. 26.11.2021 : опубл. 17.03.2022 / В. И. Пляка, С. М. Каткова, М. А. Мехедов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева».
8. Механизация растениеводства (термины и определения) : учебное пособие / Н. В. Алдошин, М. А. Мехедов, В. И. Пляка, И. Н. Гаспарян. – М. : ООО «Сам Полиграфист», 2021. – 260 с.
9. Патент на полезную модель № 211830 U1 Российская Федерация, МПК А01В 29/04, А01В 29/06. Почвообрабатывающий каток : № 2022105078 : заявл.

25.02.2022 : опубли. 24.06.2022 / В. И. Пляка, С. П. Казанцев, С. М. Каткова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева».

10. Comparative tests of ridging cultivators with active and passive working tools / A. Panov, M. Mosyakov, S. Semichev, V. Plyaka, N. Lylin, M. Mekhedov // E3S Web of Conferences. Сер. «International Scientific Conference «Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering, CONMECHYDRO 2021». – 2021. – С. 04017.

11. Ploughing quality and energy consumption depending on plough bodies type / Y. P. Lobachevsky, I. V. Liskin, A. I. Panov, N. V. Aldoshin, V. I. Plyaka, N. A. Lylin // IOP Conf.Series : Materials Science and Engineering. – 2021. – No. 1030. – Pp. 012154.

Об авторах:

Пляка Валерий Иванович, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», plyaka@rgau-msha.ru.

Щекин Максим Александрович, магистрант, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», max.shekin@mail.ru.

About the authors:

Valeriy I. Plyaka, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, plyaka@rgau-msha.ru.

Maxim A. Shchekin, master's student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, max.shekin@mail.ru.

СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР ТНВД ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

И. И. Руденко, А. С. Апатенко

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Предложена новая схема стенда для испытаний плунжерной пары ТНВД дизельного двигателя максимально простой конструкции с минимальным количеством деталей.

Ключевые слова: плунжерная пара, дизельный двигатель, подсолнечное масло, топливный насос высокого давления, стенд КИ-562, смеси биодизельного топлива.

TEST BENCH FOR PLUNGER PAIRS OF FUEL INJECTION PUMPS FOR DIESEL ENGINES

I. I. Rudenko, A. S. Apatenko

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. A new test bench has been proposed for testing the plunger pair of a diesel engine injection pump, with the simplest possible design and the minimum number of parts.

Keywords: plunger steam, diesel engine, sunflower oil, high-pressure fuel pump, KI-562 stand, biodiesel mixtures.

Цель работы – разработать стенд максимально простой конструкции, без использования ТНВД, с минимальным количеством деталей для проведения сравнительных испытаний плунжерных пар.

В целях проведения испытаний плунжерных пар ТНВД дизельных двигателей, а также с целью минимизировать затраты и расходы на проведения исследований нами был разработан «Стенд для испытаний плунжерных пар на износ» (рисунок 1) [1-5].

Проверку стенда проводили на плунжерной паре топливного насоса высокого давления 4УТНМ-1111410-01 в ёмкости с различными видами топлива (дизельное топливо, смеси биодизельного топлива) [6-8].

Рисунок 1 – Стенд для испытаний плунжерных пар:

1 – рама; 2 – возвратно-поступательный механизм; 3 – переходник, соединяющий шток возвратно-поступательного механизма и поршень плунжерной пары; 4 – ёмкость для топлива; 5 – регулятор напряжения.

В конструкцию предложенного стенда входит:

1. Рама, она предназначена для крепления возвратно-поступательного механизма, ёмкости для топлива, а также для удержания основных элементов стенда во время работы возвратно-поступательного механизма. Рама выполнена из металла, состоит из двух частей.

2. Возвратно-поступательный механизм, предназначен для осуществления хода поршня втулки плунжерной пары в ёмкости для топлива.

3. Переходник, соединяющий шток возвратно-поступательного механизма и поршень плунжерной пары.

В качестве корпуса переходника использовался известный из уровня техники металлический пневмофитинг цанговый (трубка 10-10 мм), в котором было просверлено отверстие диаметром 4 мм для крепления втулки внутри корпуса переходника.

Корпус переходника соединяется с алюминиевой втулкой с помощью болта М4 с шайбой и гайкой.

4. Ёмкость для топлива, предназначена для использования различных видов топлива и крепления втулки плунжерной пары. Разборная конструкция ёмкости для топлива реализована с целью удобства замены и заливки топлива, а также смены плунжерных пар.

5. Регулятор напряжения, предназначен для регулировки числа оборотов электродвигателя возвратно-поступательного механизма.

6. В качестве примера для проверки стенда взяли плунжерную пару 4УТНМ-1111410-01 ТНВД, которая включает в себя поршень плунжерной пары и втулку плунжерной пары и имеет следующие характеристики: масса – 0,0956 кг; ход поршня плунжерной пары – 10 мм; внешний диаметр поршня – 9 мм; внутренний диаметр втулки – 9 мм; гидравлическая плотность – не менее 15 с; материал, из которого изготовлена плунжерная пара – сталь 25Х5М [9, 10].

Последовательность проведения испытаний плунжерных пар на износ:

Испытания плунжерных пар ТНВД 4УТНМ на износ проходили в 3 этапа:

1 этап – Определение гидроплотности новых образцов плунжерных пар до начала испытаний на износ на стенде КИ-1640;

2 этап – Проведение испытаний на разработанном стенде для испытания плунжерных пар на износ;

3 этап – Определение гидроплотности плунжерных пар после проведенных испытаний на износ на стенде КИ-1640.

Испытания плунжерной пары проводим на дизельном топливе, результаты полученных исследований заносим в таблицу [11, 12].

Следующим этапом будет подготовка к работе и запуск стенда для испытания плунжерной пары на разработанном нами стенде для испытания плунжерных пар на износ (рисунок 1). Эту же плунжерную пару, которую проверили на гидроплотности устанавливаем на разработанный нами стенде для испытания плунжерных пар на износ на время работы 500 м/ч.

Результаты полученных испытаний плунжерной пары, продолжительность работы которой составила 500 м/ч заносим в таблицу.

По этой методике и в таком же порядке проводим испытания плунжерных пар и на топливе с добавлением биодобавок растительного происхождения [13-15].

Гидроплотность плунжерных пар автотракторных дизелей должна быть не менее 15 с при давлении в надплунжерном пространстве 20 ± 1 МПа для рядных ТНВД.

Выводы

Предложенный стенд для испытаний плунжерных пар с различными видами топлива (дизельное топливо, смеси биодизельного топлива), разработан и собран в максимально простой конструкции, без использования ТНВД, с минимальным количеством деталей. Стенд может использоваться для проведения практических, лабораторных, исследовательских работ и проведения испытаний на износ плунжерных пар ТНВД дизельных двигателей с целью минимизировать затраты и расходы на проведения исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Расчет показателей надежности автомобильной техники / Н. В. Хольшев, Д. Н. Коновалов, А. В. Милованов [и др.]. – Тамбов, 2022.
2. Система питания автомобильных и тракторных газовых двигателей / А. А. Лавренченко, С. М. Ведищев, А. В. Милованов [и др.]. – Тамбов, 2021.
3. Голубев, И. Г. Работоспособность форсунок топливной аппаратуры дизелей на биотопливе / И. Г. Голубев, И. И. Руденко // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства : сборник научных докладов XV-й Международной научно-практической конференции. – Тамбов : ГНУ ВИИТиН, 2009. – С. 448-451.
4. Голубев, И. Г. Работоспособность форсунок топливной аппаратуры дизелей на биотопливе / И. Г. Голубев, И. И. Руденко // Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем : материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Саранск : ГОУ ВПО МГУ имени Н. П. Огарева, 2009. – С. 112-115.
5. Техника транспорта: основы конструкции / Н. В. Хольшев, Д. Н. Коновалов, А. А. Лавренченко, Ю. Е. Глазков, А. В. Прохоров. – Тамбов, 2020.
6. Голубев, И. Г. Испытание форсунок топливной аппаратуры дизелей на смесевом топливе / И. Г. Голубев, И. И. Руденко // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК : V-я Международная научно-практическая конференция. – М. : ФГБНУ Росинформагротех, 2011. – С. 248-252.
7. Голубев, И. Г. Методика и результаты испытания дизелей на смесевом топливе / И. Г. Голубев, И. И. Руденко, В. И. Панферов // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК : сб. матер. VII Международной научно-практической конференции «ИнформАгро-2014». – М. : Минсельхоз России, 2014. – С. 357-359.
8. Голубев, И. Г. Влияние биодобавок в смесевое топливо на работоспособность топливной аппаратуры дизельных двигателей / И. Г. Голубев, И. И. Руденко // Техника и оборудование для села. – 2017. – № 5. – С. 45-47.

9. Руденко, И. И. Работоспособность топливной аппаратуры дизелей на топливе с биодобавками из рапсового масла / И. И. Руденко, И. Г. Голубев // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2012. – № 8. – С. 53-54.
10. Шамарин, Ю. А. Использование цифровых решений в конструкциях оборудования для диагностирования топливной аппаратуры дизелей лесных машин / Ю. А. Шамарин, И. И. Руденко // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК : материалы XII Международной научно-практической интернет-конференции. – 2020. – С. 519-521.
11. Технологии производства и ремонта машин в АПК / А. И. Завражнов, М. К. Бралиев, С. М. Ведищев [и др.]. – Уральск, 2016.
12. Изменение параметров топливоподачи дизеля при работе на смесевом топливе с биодобавками из рапсового масла / И. Г. Голубев, И. И. Руденко // Аграрная наука – сельскому хозяйству : XVI-я Международная научно-практическая конференция. – Барнаул : ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, 2021. – С. 16-18.
13. Апатенко, А. С. Влияние биотопливных композиций в дизельном топливе на параметры двигателя / А. С. Апатенко, И. И. Руденко, А. С. Прибытков // Ремонт, восстановление и модернизация. – 2022. – №3. – С. 24-27.
14. Апатенко, А. С. Совершенствование элементов топливной системы дизельного двигателя при использовании биотоплива / А. С. Апатенко, И. И. Руденко // В сборнике: Чтения академика В. Н. Болтинского. – Москва, 2023. С. 266-271.
15. Капустин, В. П. Технологическое обслуживание сельскохозяйственных машин и агрегатов / В. П. Капустин, Ю. Е. Глазков // Техника в сельском хозяйстве. – 2010. – № 1. – С. 26-28.

Об авторах:

Руденко Иван Иванович, кандидат технических наук, ассистент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», vanya.rudenko.82@mail.ru.

Апатенко Алексей Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технического сервиса машин и оборудования, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», a.apatenko@rgau-msha.ru.

About the authors:

Ivan I. Rudenko, Cand.Sc. (Engineering), assistant, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, vanya.rudenko.82@mail.ru.

Alexey S. Apatenko, D.Sc. (Engineering), professor, Head of Department of Mechanical Engineering and Power Engineering, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, a.apatenko@rgau-msha.ru.

ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ КОЛЕСНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТРАКТОРОВ

**И. А. Старостин, А. В. Ещин, С. А. Давыдова, Е. Д. Дегтярева,
Г. В. Сысоев**

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Проведен анализ исторических аспектов развития основных конструктивных элементов колесных сельскохозяйственных тракторов, на основании которого выявлены закономерности и долгосрочные тенденции развития их основных узлов и агрегатов.

Ключевые слова: сельскохозяйственный трактор, история развития, двигатель, трансмиссия, ходовая система, гидравлическая система, устройство отбора мощности, механизм рулевого управления.

HISTORICAL ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF THE MAIN COMPONENTS AND ASSEMBLIES OF WHEELED AGRICULTURAL TRACTORS

**I. A. Starostin, A.V. Yashin, S. A. Davydova, E. D. Degtyareva,
G. V. Sysoev**

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The analysis of historical aspects of the development of the main structural elements of wheeled agricultural tractors has been carried out, on the basis of which patterns and long-term trends in the development of their main components and assemblies have been identified.

Keywords: agricultural tractor, development history, engine, transmission, running gear, hydraulic system, power take-off device, steering mechanism.

Трактор является основным энергетическим средством в сельскохозяйственном производстве, от уровня технического совершенства которого зависит эффективность выполнения работ. В связи с этим важной задачей совершенствования тракторов является выявление долгосрочных тенденций развития их основных конструктивных элементов. С этой целью произведен анализ исторических аспектов развития основных узлов и агрегатов сельскохозяйственных тракторов.

Цель исследования – выявить закономерности и долгосрочные перспективы развития основных узлов и агрегатов сельскохозяйственных тракторов путем ретроспективного анализа тенденций их развития.

Материалы и методы

При проведении исследований проводился анализ основных узлов и агрегатов колесных сельскохозяйственных тракторов производства компаний John Deere (США) и Fendt (Германия), являющихся одними из мировых лидеров в области сельскохозяйственного тракторостроения. Для компании John Deere рассматриваемый период составил с 1892 по 2020 гг. [1-4], для Fendt – с 1930 по 2017 гг. [5-9]. Параллельно с ними анализировались основные вехи развития отечественного тракторостроения в период с 1924 по 2019 гг. [10-15].

Объектом исследования выступали конструктивные особенности тракторов на протяжении всего периода их развития: применяемый энергоноситель, тип и мощность двигателя, тип и число передач трансмиссии, тип ходовой системы, тип механизма управления, тип навесной системы и тип вала отбора мощности (ВОМ).

Результаты и обсуждение

В тенденциях развития двигателей и типов используемого топлива в моделях тракторов рассматриваемых производителей (таблица 1) прослеживается тенденция перехода от применения углеводородных топлив к использованию электрических источников энергии: керосиновый двигатель → бензиновый двигатель → дизельный двигатель → газодизельный двигатель → электрический двигатель с питанием по кабелю от сети → электрический двигатель с питанием от накопителей энергии (преимущественно аккумуляторных батарей).

По мере развития получивших в настоящее время наибольшее распространение дизельных двигателей наблюдается тенденция увеличения числа рабочих цилиндров от одного до шести у John Deere, от одного до семи – у Fendt, от одного до восьми и более в отечественном тракторостроении, что коррелируется с ростом мощности двигателя от нескольких лошадиных сил до нескольких сотен лошадиных сил. С 1960-ых годов с целью увеличения мощности, снижению удельного расхода топлива и повышения экологических показателей дизельных двигателей начинает получать распространение турбонаддув, который в последствии дополняется интеркулером (системой охлаждения нагнетаемого воздуха).

Таблица 1 – Развитие двигателей

Год	Модель	Двигатель	Мощность, л.с.
Производитель: John Deere			
1892	Трактор Форд	Одноцилиндровый, карбюратор-	н/д
1918		Одноцилиндровый, карбюратор-	12
1935	John Deere Model D	2-х цилиндровый, бензиновый	27
1937	John Deere Model G	2-х цилиндровый, бензиновый	36
1942	John Deere Model GM	2-х цилиндровый, бензиновый	38
1949	John Deere Model R	2-х цилиндровый, дизельный	50
1955	John Deere Model 80	2-х цилиндровый, дизельный	68
1959	John Deere 8010	6-ти цилиндровый дизельный	215
1963	John Deere 4020	4-х цилиндровый дизельный	90
1968	John Deere 4520	6-ти цилиндровый дизельный с	120
1978	John Deere 8640	6-ти цилиндровый дизельный с	275
1984		6-ти цилиндровый дизельный с	112
1990		6-ти цилиндровый дизельный с турбонаддувом	33
1996	John Deere 955	3-х цилиндровый дизельный	175
2003		6-ти цилиндровый дизельный с турбонаддувом	155
2016	John Deere SESAM	6-ти цилиндровый дизельный с турбонаддувом и интеркулером	402
2018		Два электрических двигателя по 150 кВт. Аккумуляторные батареи емкостью 130 кВтч	136
2019		Электрический двигатель с питанием от электрокабеля	680
2020	John Deere 8RX	Электрический двигатель с питанием от электрокабеля	410
1930		6-ти цилиндровый дизельный с двухступенчатым турбонаддувом и интеркулером	6
1938	Dieselross	Производитель: Fendt	22
1953	Dieselross F22	Одноцилиндровый, дизельный	12
1958	Самоходное шасси	Двухцилиндровый, дизельный	25
1961	Farmer 1	Одноцилиндровый, дизельный	28
	Farmer 2 D	Двухцилиндровый, дизельный	
		3-х цилиндровый дизельный	

1974	Farmer 200S	3-х цилиндровый дизельный	40
1984	Farmer 311LS	6-ти цилиндровый дизельный	100
1993		6-ти цилиндровый с турбонадду- вом и интеркулером	230
1996		6-ти цилиндровый с турбонадду- вом и интеркулером	260
2017		Электрический двигатель с пита- нием от аккумуляторных батарей	(50 кВт)
Отечественное тракторостроение			
1924	Карлик	Одноцилиндровый двухтактный	12
1924	Фон-Уол- лэнд Птиль	4-х цилиндровый, карбюратор-	20
1934		4-х цилиндровый, карбюратор- ный, керосиновый	22
1950		2-х цилиндровый, карбюратор- ный, бензиновый	12
1954	МТЗ-2	4-х цилиндровый, дизельный	37
1961	МТЗ-50	4-х цилиндровый, дизельный	55
1964	К-700	8-ми цилиндровый, дизельный	220
1971		6-ти цилиндровый, дизельный с турбонаддувом	165
1974	МТЗ-80	4-х цилиндровый, дизельный	80
1988		4-х цилиндровый, дизельный с турбонаддувом	150
2014		6-ти цилиндровый, дизельный с турбонаддувом	181
2017	Кировец К-5 «Ки- рюша»	6-ти цилиндровый, дизельный с турбонаддувом	240
2019		6-ти цилиндровый, дизельный с турбонаддувом	300

Трансмиссии тракторов также прошли серьезный путь развития в направлении увеличения числа передач вплоть до перехода от механических ступенчатых к бесступенчатым гидростатическим и электрическим (таблица 2). Прослеживается явная тенденция: одна передача → две передачи → три передачи → ... → 44 передачи → ... → бесступенчатая. По типу привода распространение получили механический, гидростатический и электрический. Системы управления коробкой переключения передач получили развитие от ручного до полностью автоматического: с ручным управлением → полуавтоматические (1970-ые годы) → автоматические (1990-е годы) → автоматические с электронными системами управления (2010-х годов).

Таблица 2 – Развитие трансмиссии и коробок перемены передач

Год	Модель	Тип трансмиссии	Число пере-
		Производитель: John Deere	
1892	Трактор Фро-	Механическая	1 передача
1918	Waterloo Boy	Механическая ступенчатая	2 передачи
1935	John Deere	Механическая ступенчатая	3 передачи
1937	John Deere	Механическая ступенчатая	4 передачи
1942	John Deere	Механическая ступенчатая	6 передач
1949	John Deere	Механическая ступенчатая	6 передач
1955	John Deere	Механическая ступенчатая	6 передач
1959	John Deere 8010	Механическая ступенчатая	9 передач
1963	John Deere 4020	Power Shift (полуавтоматическая)	8 передач
1968	John Deere 4520	Power Shift (полуавтоматическая)	8 передач
1978	John Deere 8640	Power Shift (полуавтоматическая),	16 передач
1984	John Deere 3640	PowerSyncron	16 передач
1990	John Deere 955	Бесступенчатая гидростатическая	-
1996	John Deere 7810	Power Shift (полуавтоматическая)	19 передач
		Бесступенчатая трансмиссия IVT (гидростатическая + механическая)	
2016	John Deere	Электромеханическая DirectDrive	-
2018	John Deere	Электромеханическая	-
2019	John Deere Joker	Электромеханическая	-
2020	John Deere 8RX	Power Shift (автоматическая)	23 передачи
		Производитель: Fendt	
1930	Dieselross	н/д	н/д
1938	Dieselross F22	Механическая ступенчатая	4 передачи
1953	шасси Fendt	Механическая ступенчатая	4 передачи
1958	Farmer 1	Механическая ступенчатая	6 передач
1961	Farmer 2 D	Механическая ступенчатая	8 передач
1974	Farmer 200S	Механическая ступенчатая	13 передач
1984	Farmer 311LS	Механическая ступенчатая	21 передача
1993	Favorit 824	Механическая полуавтоматическая	44 передачи

1996	Vario 926	Бесступенчатая Vario (гидростатиче-	-
2017	Fendt e100 Vario	Электромеханическая	-
		Отечественное тракторостроение	
1924	Карлик	Механическая ступенчатая	1 передача
1924	Фордзо -Пути- н	Механическая ступенчатая	3 передачи
1934	Универсал	Механическая ступенчатая	3 передачи
1950	ХТ37	Механическая ступенчатая	5 передач
1954	МТЗ-2	Механическая ступенчатая	5 передач
1961	МТЗ-50	Механическая ступенчатая	9 передач
1964	К-700	Механическая полуавтоматическая	16 передач
1971	Т-150К	Механическая полуавтоматическая	12 передач
1974	МТЗ-80	Механическая ступенчатая	18 передач
1988	ЛТЗ-155	(полуавтоматическая)	16 передач
2014	Агромаш 180 ТК	Механическая полуавтоматическая	24 передачи
2017	Кировец К-5	Механическая автоматическая	6 передач
2019	Кировец К-7	Механическая автоматическая	16 передач

Колесная ходовая система за этот период осуществила переход от металлического колеса до колеса с пневматическими шинами (таблица 3). В последнее время широкое распространение получают тракторы с установленными вместо колес четырьмя модулями с резиноармированными гусеницами как с шарнирно-сочлененной рамой, так и классической компоновки.

Механизм рулевого управления на колесных тракторах изменялся от поворота передней балки к управлению всеми колесами. Примерно с 1950-х годов стали применяться гидроусилители рулевого управления, облегчающие работу оператора, а в 1980-х годах стало распространяться гидрообъемное рулевое управление. Управление тракторами с шарнирно-сочлененной рамой осуществлялось за счет поворота полурам рулевым механизмом управлением с гидроусилителем. В последнее время получают распространение гидрообъемные механизмы рулевого управления. Отдельно стоит отметить тенденцию использования средств телеметрии и электронных систем управления с обеспечением возможности автоматического вождения. Это направление получает распространение в последние десятилетия. Определенных успехов в этом достигла фирма John Deere, которая разработала роботизированный трактор, лишенный кабины с рабочим местом оператора.

Таблица 3 – Развитие ходовых систем и механизмов поворота

Год	Модель	Д а я Хо ов система	Механизм рулевого управ-
Производитель: John Deere			
1892	Трактор Фролиха		Механическое, поворотом передней балки
1918	Waterloo	л о Мета лические к леса	Механическое, поворотом
1935	John Deere	Колеса с пневматическими	Механическое, поворотом
	Model D	шинами	передних колес
1937	John Deere	Колеса с пневматическими	Механическое, поворотом
	Model G	шинами	передних колес
1942	John Deere	Колеса с пневматическими	Механическое, поворотом
	Model GM	шинами	передних колес
1949	John Deere	Колеса с пневматическими	Механическое, поворотом
	Model R	шинами	передних колес
1955	John Deere	Колеса с пневматическими	л п ото р лите ем, овор м пе ед- них колес
1959	John Deere 8010		Механическое с гидроуси- лителем, поворотом полу- рам
1963	Goliath		
	John Deere	Колеса с пневматическими	л п ото р лите ем, овор м пе ед- них колес
1968			
	John Deere	Колеса с пневматическими	л п ото р лите ем, овор м пе ед- них колес
1978			
	John Deere	Колеса с пневматическими	л п ото у лите ем, овор м пол - рам
1984			
	John Deere	Колеса с пневматическими	лителем, поворотом перед- них колес
1990			
	John Deere	Колеса с пневматическими	л п ото р лите ем, овор м пе ед- них колес
1996			
	John Deere	Колеса с пневматическими	л п ото р лите ем, овор м пе ед- них колес
2003			
	John Deere	Колеса с пневматическими	л п ото р лите ем, овор м пе ед- них колес
	John Deere	Колеса с пневматическими	л п лите ем, оворотом перед- них колес

2016	John Deere SESAM	Колеса с пневматическими	о о т р и лем, п в ро ом пе едн х колес
2018	John Deere	Колеса с пневматическими	о и ов н Р ботиз р а ное
2019	John Deere Joker	Резиноармированные гусе-	о и ов н Р ботиз р а ное
2020	John Deere 8RX	4 резиноармированные гу- сеницы	Active Command Steering (электронная система руле- вого управления), JDLink (система телеметрии)
1930	Dieselross	Производитель: Fendt	
1938	Dieselross F22	л о Мета личные к леса	Механическое, поворотом
1953	Самоход- ное шасси Fendt	Колеса с пневматическими шинами	Механическое, поворотом передних колес
1958	Farmer 1	Колеса с пневматическими шинами	Механическое, поворотом передних колес
1961	Farmer 2 D	Колеса с пневматическими шинами	Механическое, поворотом передних колес
1974	Farmer 200S	Колеса с пневматическими шинами	Механическое, поворотом передних колес
1984	Farmer 311LS		Механическое, с гидроуси- лителем, поворотом перед- них колес
1993	Favorit 824		Механическое, с гидроуси- лителем, поворотом перед- них колес
1996	Vario 926		Механическое, с гидроуси- лителем, поворотом перед- них колес
2017	Fendt e100 Vario		Механическое, с гидроуси- лителем, поворотом перед- них колес
1924	Карлик	Колеса с пневматическими	о о т р и лем, п в ро ом пе едн х колес
1924	Фордзон- Путиловец	Отечественное тракторостроение л о Мета личные к леса	Механическое, поворот пе-
		л о Мета личные к леса	Механическое, поворот пе-

1934	Универсал	Колеса с пневматическими шинами	Механическое, поворот передних колес
1950	ХТЗ7	Колеса с пневматическими шинами	Механическое, поворот передних колес
1954	МТЗ-2	Колеса с пневматическими шинами	Механическое, поворот передних колес
1961	МТЗ-50	Колеса с пневматическими шинами	Механическое с гидроусилителем, поворот передних колес
1964	К-700	Колеса с пневматическими шинами	Механическое с гидроусилителем, поворот полурам
1971	Т-150К	Колеса с пневматическими шинами	Механическое с гидроусилителем, поворот полурам
1974	МТЗ-80	Колеса с пневматическими шинами	Механическое с гидроусилителем, поворот передних колес
1988	ЛТЗ-155	Колеса с пневматическими шинами	Гидрообъемное, поворот передних и задних колес
2014	Агромаш 180 ТК	Колеса с пневматическими шинами	Гидрообъемное, поворот передних колес, автоматическая система управления
2017	Кировец К-5	Колеса с пневматическими шинами	Гидрообъемное, поворот полурам
2019	Кировец К-7	Колеса с пневматическими шинами	Гидрообъемное, поворот полурам

Навесная система на тракторах начала появляться в 1930-е годы (таблица 4). Не продолжительный период она была механическая с ручным приводом, которую заменила гидравлическая (1930-е...1950-е годы), сохранившаяся до настоящего времени.

Анализ тенденций развития привода сельскохозяйственных машин как рассматриваемых моделей, так и иных моделей сельскохозяйственных тракторов показывает, что изначально использовался приводной шкив, который в скором времени был заменен ВОМ. Вал отбора мощности также пережил несколько основных трансформаций: зависимый одноступенчатый → независимый одноступенчатый → независимый двухступенчатый. На тракторах других производителей находит применение также независимые трехступенчатые и четырехступенчатые ВОМ.

Таблица 4 – Развитие навесных систем и устройств отбора мощности колесных сельскохозяйственных тракторов

Год	Модель	Навесная система	Устройство отбора мощно-
		Производитель: John Deere	
1892	Трактор Фро-	Нет	Приводной шкив
1918	Waterloo Boy	Нет	Приводной шкив
1935	John Deere	Нет	Приводной шкив
³ 19 7	John Deere	Механическая навесная	во к При дной ш ив
⁴ 19 2	John Deere	Механическая навесная	во к При дной ш ив
	John Deere Model R	Гидравлическая навесная система	Независимый одноступенчатый ВОМ
	John Deere Model 80	Гидравлическая навесная система	Независимый одноступенчатый ВОМ
	John Deere 8010 Goliath	Гидравлическая навесная система	Независимый одноступенчатый ВОМ
		Гидравлическая навесная система	Независимый одноступенчатый ВОМ
		Гидравлическая навесная система	Независимый одноступенчатый ВОМ
		Гидравлическая навесная система	Независимый одноступенчатый ВОМ
1984	John Deere 3640	ная система, передняя навесная система	Независимый двухступенчатый ВОМ
		Гидравлическая навесная система	Независимый одноступенчатый ВОМ
1996	John Deere 7810	ная система	Гидравлический независимый двухступенчатый
2003	John Deere 7710	ная система	Гидравлический независимый двухступенчатый
	John Deere SESAM	Гидравлическая навесная система	Независимый двухступенчатый ВОМ
¹ 20 8	John Deere	Гидравлическая навесная система	н/д
2019	John Deere Joker	Гидравлическая навесная система	н/д

2020	John Deere 8RX	Задняя и передняя гидравлическая навесная система Производитель: Fendt	Гидравлический независимый двухступенчатый BOM
1930	Dieselross	Механическая	Привод только для ко-
1938	Dieselross F22	Механическая	Независимый одноступен-
1953	Самоходное шасси Fendt	Гидравлическая навесная система	Независимый одноступенчатый BOM
1958		Гидравлическая навесная система	Независимый, приводной шкив BOM
1961		Гидравлическая навесная система	Независимый двухступенчатый BOM
1974		Гидравлическая навесная система	Независимый двухступенчатый BOM
1984		Гидравлическая навесная система	Независимый трехступенчатый BOM
1993		Гидравлическая навесная система	Независимый двухступенчатый BOM
1996		Гидравлическая навесная система	Независимый двухступенчатый BOM Независимый двухступен-
2017	Fendt e100 Vario	Гидравлическая навес-	электропривода оборудования сельскохозяйственной машины
Отечественное тракторостроение			
1924	Карлик	нет	Приводной шкив
1924	Фордзон-Пути-	нет	Приводной шкив
1934	Универсал	Гидравлическая навес-	Приводной шкив
1950	³ ХТ 7	Гидравлическая навес-	во к При дной ш ив
1954		Гидравлическая навесная система	Независимый одноступенчатый BOM
1961		Гидравлическая навесная система	Независимый одноступенчатый BOM
1964		Гидравлическая навесная система	Независимый одноступенчатый BOM
1971		Гидравлическая навесная система	Независимый одноступенчатый BOM

1974	MT3-80	Гидравлическая навесная система	Независимый двухступенчатый ВОМ
1988	ЛТЗ-155	Гидравлическая навесная система	Независимый двухступенчатый ВОМ
2014	Агромаш 180 ТК	Гидравлическая навесная система	Независимый двухступенчатый ВОМ
2017	Кировец К-5	Гидравлическая навесная система	Независимый двухступенчатый ВОМ
2019	Кировец К-7	Гидравлическая навесная система	Независимый двухступенчатый ВОМ

Выводы

Анализ исторических аспектов развития конструктивных элементов сельскохозяйственных тракторов позволил выявить основные закономерности развития систем трактора. Наиболее явной из них является увеличение числа передач в трансмиссии вплоть до перехода к бесступенчатой трансмиссии, позволяющей наиболее эффективно использовать мощность двигателя. Аналогичная тенденция наблюдается и с ВОМ – рост числа ступеней с возможным дальнейшим переходом к бесступенчатому валу отбора мощности с гидростатическим или электрическим приводом. Прослеживается тенденция перехода к применению электрического привода в трансмиссии с питанием от обеспечивающих автономность накопителей энергии (преимущественно аккумуляторных батарей) Управление сельскохозяйственных тракторов развивается в направлении его полной автоматизации путем расширения функционала электронных систем для обеспечения согласования работы основных узлов трактора и полного исключения человека из процесса выполнения операции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Наша история [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.deere.ru/ru/наша-компания/история> (дата обращения: 10.01.2025).
2. Наша история – наша гордость [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.deere.ru/ru/кампании/ag-turf/100-лет> (дата обращения: 09.01.2025).
3. John Deere – история возникновения и развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://promzona.uz/blog/stati/john-deere-istoriya-voznikonoveniya-i-razvitiya/> (дата обращения: 10.01.2025).
4. 100 лет тракторам John Deere: 1918-1938 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://latifundist.com/spetsproekt/373-100-let-traktoram-john-deere> (дата обращения: 14.01.2025).

5. Fendt Company [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fendt.com/ru/kompaniya/istoriya> (дата обращения: 13.01.2025).
6. О бренде [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Fendt <https://agco-rm.ru/brands/fendt/> (дата обращения: 10.01.2025).
7. Fendt [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.stroyteh.ru/wiki/FENDT> (дата обращения: 14.01.2025).
8. FENDT – завод. Фендт – фамилия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agrosb.by/fendt.html> (дата обращения: 09.01.2025).
9. Traktorenlexikon: Fendt [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://de.wikibooks.org/wiki/Traktorenlexikon:_Fendt#Favorit_1 (дата обращения: 10.01.2025).
10. Карасев, А. В. Экскурс в историю тракторостроения и тракторизации сельского хозяйства / А. В. Карасев // Технический сервис машин. – 2023. – № 1(150). – С. 155-163. – DOI 10.22314/2618-8287-2023-61-1-155-163.
11. Ценч, Ю. С. История создания первого российского трактора / Ю. С. Ценч, Н. С. Хомутова // История науки и техники. – 2019. – № 9. – С. 36-46. – DOI 10.25791/intstg.09.2019.849.
12. Столетний юбилей трактора «Фордзон-Путиловец» / В. В. Шаров, Ю. С. Ценч, С. А. Серебряков [и др.] // Российская сельскохозяйственная наука. – 2024. – № 5. – С. 67-71. – DOI 10.31857/S2500262724050136.
13. Измайлов, А. Ю. Историко-тематическая экспозиция «Становление и развитие научно-технического и кадрового обеспечения механизации и электрификации сельского хозяйства» / А. Ю. Измайлов, Ю. С. Ценч // Технический сервис машин. – 2021. – № 1(142). – С. 193-209. – DOI 10.22314/2618-8287-2021-59-1-193-209.
14. Будущее тракторостроения в России / В. И. Трухачев, О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы : Сборник статей 26-ой Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 12-13 мая 2022 года. – М. : Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. – С. 15-21.
15. Голдина, И. И. История развития двигателя, автомобилестроения и сельхозмашиностроения (тракторостроения) в России / И. И. Голдина, Г. А. Иовлев, В. В. Побединский // История науки и техники. – 2021. – № 5. – С. 3-17. – DOI 10.25791/intstg.5.2021.1276.
16. Ценч, Ю. С. Становление отечественной мобильной сельскохозяйственной техники на электротяге / Ю. С. Ценч, В. В. Шаров // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2024. – Т. 18, № 3. – С. 4-13. – DOI 10.22314/2073-7599-2024-18-3-4-13.

Об авторах:

Старостин Иван Александрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории прогнозирования систем машин и технологий

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», starwan@yandex.ru.

Ещин Александр Вадимович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», eschin-vim@yandex.ru.

Давыдова Светлана Александровна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории прогнозирования развития систем машин и технологий кандидат технических наук, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», davidova-sa@mail.ru.

Дегтярева Елена Дмитриевна, кандидат технических наук, младший научный сотрудник лаборатории прогнозирования развития систем машин и технологий, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», alena-kozh@yandex.ru.

Сысоев Георгий Владимирович, главный специалист, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», sysoev.gv@gmail.com.

About the authors:

Ivan A. Starostin, Cand.Sc. (Engineering), senior researcher at the Laboratory of Forecasting Systems of Machines and Technologies, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, starwan@yandex.ru.

Alexander V. Eshchin, Cand.Sc. (Engineering), leading researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, eschin-vim@yandex.ru.

Svetlana A. Davydova, Cand.Sc. (Engineering), leading researcher at the Laboratory for Forecasting the Development of Machine Systems and Technologies, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, davidova-sa@mail.ru.

Elena D. Degtyareva, Cand.Sc. (Engineering), junior researcher at the Laboratory of Forecasting the Development of Machine Systems and Technologies, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, alena-kozh@yandex.ru.

Georgii V. Sysoev, chief specialist, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, sysoev.gv@gmail.com.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РАБОЧИЕ ОРГАНЫ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

И. А. Супонев, М. Н. Ерохин

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В статье проведен анализ характеристик почвы, оказывающих влияние на изнашивание рабочих органов почвообрабатывающих машин. Приведены типы почв по гранулометрическому составу и характерные для них виды износа.

Ключевые слова: почва, изнашивание, характеристики почвы, виды износа, рабочие органы почвообрабатывающих машин.

PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF SOILS AND THEIR EFFECT ON THE WORKING ORGANS OF TILLAGE MACHINES

I. A. Suponev, M. N. Erokhin

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. The article analyzes the characteristics of the soil that affect the wear of the working organs of tillage machines. The types of soils by granulometric composition and their characteristic types of wear are given.

Keywords: soil, wear, soil characteristics, types of wear, working organs of tillage machines.

Почва имеет довольно сложное строение. В зависимости от ее типа в состав входят разные по размерам, форме и абразивным свойствам включения.

Важным показателем является наличие в почве твердых структурных составляющих, так как они оказывают наиболее сильное изнашивающее воздействие на рабочие органы почвообрабатывающих машин (таблица 1).

Одной из основных характеристик почвы является её каменистость. Данный показатель находится в прямой зависимости от типа почв и расположения территории, а также от ее исторического развития [1].

Таблица 1 – Типы твердых почвенных фракций

Название	Диаметр
Крупный песок	1...3 мм
Мелкий хрящ	3...5 мм
Крупный хрящ	5...10 мм
Мелкий щебень	1...3 см
Средний щебень	3...5 см
Крупный щебень	5...10 см
Камни	10 и более см

Каменистость оказывает значительное влияние на изнашивание рабочих органов почвообрабатывающих машин [2].

Таблица 2 – Каменистость почв

Содержание частиц размером свыше 3 мм, %	Степень каменистости
Менее 0,5	Некаменистая
От 0,5 до 5 включительно	Слабокаменистая
Свыше 5 до 10 включительно	Среднекаменистая
Свыше 10	Сильнокаменистая

Данные мелкоземельного анализа являются основой для составления гранулометрического состава почв. Все почвы классифицируются по наличию физического песка и физической глины, а также их количественному содержанию в почве (таблица 3).

Таблица 3 – Гранулометрический состав почв

Название почвы по гранулометрическому составу	Содержание физической глины (частицы менее 0,01 мм), %		
	Подзолистый тип почвообразования	Степной тип почвообразования, красноземы, желтоземы	Солонцы и солонцеватые почвы
Песок рыхлый	0...5	0...5	0...5
Песок связный	5...10	5...10	5...10
Супесь	10...20	10...20	10...15
Суглинок легкий	20...30	20...30	15...20
Суглинок средний	30...40	30...45	20...30
Суглинок тяжелый	40...50	45...60	30...40
Глина легкая	50...65	60...75	40...50
Глина средняя	65...80	75...85	50...65
Глина тяжелая	более 80	более 85	более 65

Почвы, в которых преобладающее количество песчаных частиц, считаются легкими. В составе данного типа почв преобладают фракции гранита (твердостью 8100) и кварца (твердостью 10200...10600 МПа).

В сравнении с глинистыми почвами, песчаные легче обрабатывать, так как они легче крошатся и не прилипают к рабочим органам, однако они оказывают более сильное изнашивающее воздействие (таблица 4) из-за наличия большего числа абразивных частиц.

Таблица 4 – Классификация почв по удельному изнашиванию лемехов

Группа	Подтип почв	Содержание физического песка, %	Удельный взнос лемеха, г/га
1	Глинистые, тяжелые суглинистые без наличия каменных включений	До 80	2...30
2	Средне-, легкосуглинистые, супесчаные, песчаные, песчаные с небольшим количеством включений	От 80 до 95	30...100
3	Песчаные, тяжелые и легкие супесчаные с большим количеством каменных включений	От 95 до 100	260...450

Таблица 5 – Типы почв и характерные для них предельные состояния лемехов

Категория и почва	Твердость, МПа	Коэффициент изнашиваемости	Возникающие дефекты	ботка,
Песчаная и супесчаная			Износ лемеха по толщине, износ области, примыкающей к полевому обреза, сквозное протирание, износ носка на величину более 45 мм, обломы, изгибы	
Суглини			Износ по ширине и толщине, лучевидный износ, появление затылочной фаски, обломы, изгибы, трещины	
Глинистая			Затупление, износ лезвия по ширине лемеха на величину наплавленного слоя – 7...8 мм, при пониженной влажности изломы носка, обломы, изгибы, трещины	

В процессе почвообработки проявляются технологические свойства почвы: влажность, абразивность, фрикционность и твердость, которые также оказывают воздействие на изнашивание рабочих органов почвообрабатывающих машин.

На основе данных исследований, проведенных в ЦФО [3], основанных на зависимости изнашивающей способности почвы от ее гранулометрического состава, была составлена таблица (таблица 5).

Дефекты, встречающиеся у лемехов классифицированы по частоте их появления (таблица 6).

Таблица 6 – Основные дефекты лемеха

	Коэффициент повторяемости	Состояние (предельное/критическое)
		Предельное, возможно восстановление
у и л Зат плен е езвия	0 0, 3	Предельное, возможно
Обломы, изгибы, скручивание	0,05	Критическое
но п и Из с о ш рине	0 0, 6	Предельное, возможно
Сквозное протирание в области, примыкающей к полевому об-	0,12	о и восстан влен е
Износ по толщине не более 6 мм	0,15	Предельное, возможно
но н Из с о ска	3 0, 0	Предельное, возможно
Образование затылочной фаски	0,50	Предельное, возможно
Образование лучевидного износа	0,84	Предельное, возможно

По данным исследования [4], наиболее часто встречающимся дефектом является лучевидный износ носка лемеха.

Для устранения некоторых дефектов и упрочнения существует множество технологий [5]. Некоторые из них были сведены в таблицу (таблица 7).

Таблица 7 – Технологии устранения дефектов

	Получаемая твердость		Применяемые материалы
Крепление стальной пластины с помощью болтов			Х12 Х12МФ
Упрочнение с помощью метал- локерамических пластин			Л-63 ВК-8
Двухслойная наплавка	62 HRC	35...40 га	Т- 590
Электродная наплавка	57...62 HRC	40...45 га	Т-590
Индукционная наплавка	55 HRC	30 га	ПГ-УСЧ 30
Замена изношенной лезвийной	45...55 HRC	35...45 га	УОНИ-13/55

Вывод

Все упомянутые выше параметры дают представление об изнашивающем воздействии почвы. Проведенный анализ позволяет разработать наиболее эффективную технологию восстановления и упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин для повышения их эффективности и производительности почвообработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агрофизические и агрохимические методы исследования почв : учебно-методическое пособие / сост. В. И. Терпелец, В. Н. Слюсарев – Краснодар : КубГАУ, 2016. – 65 стр.
2. Новиков, В. С. Прогнозирование долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин при их разработке / В. С. Новиков / Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2017. – № 6 (82). – С. 56-62.
3. Новиков, В. С. Сравнительные исследования на долговечность серийных и опытных лемехов плуга / В. С. Новиков, Н. А. Поздняков, Д. С. Сабуркин // Международный научный журнал. – 2008. – № 1. – С. 14-18.
4. Бернштейн, Д. Б. Абразивное изнашивание лемешного лезвия и работоспособность плуга / Д. Б. Бернштейн // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2002. – № 6. – С. 39-42.
5. Ерохин, М. Н. Повышение прочности и износостойкости лемеха плуга / М. Н. Ерохин, В. С. Новиков // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2008. – № 2. – С. 10-22.

Об авторах:

Супонев Илья Александрович, магистрант, ФГБОУ ВО «Российский

государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева».

Ерохин Михаил Никитьевич, академик РАН, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», n.erohin@rgau-msha.ru.

About the authors:

Ilya A. Suponev, master's student, Timiryazev Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy.

Mikhail N. Erokhin, academician of the Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Engineering), professor, Timiryazev Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, n.erohin@rgau-msha.ru.

РОЛЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОЗМОЖНОСТЕЙ В УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССАМИ РЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Г. Н. Темасова

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматривается роль показателей возможностей в управлении процессами ремонтных предприятий. Анализируются ключевые аспекты применения этих показателей для оценки эффективности деятельности предприятия, оптимизации производственных процессов и повышения качества предоставляемых услуг.

Ключевые слова: процесс, показатели качества, индекс воспроизводимости, коэффициент точности, индекс центрированности.

THE ROLE OF CAPABILITY INDICATORS IN PROCESS MANAGEMENT OF REPAIR ENTERPRISES

G. N. Temasova

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. The article examines the role of capability indicators in managing the processes of repair enterprises. The key aspects of using these indicators to assess the effectiveness of an enterprise, optimize production processes, and improve the quality of services provided are analyzed.

Keywords: process, quality indicators, reproducibility index, accuracy coefficient, centering index.

В современных условиях качество является неотъемлемым элементом обеспечения конкурентных преимуществ производителя [1, 2]. Показатели возможностей процесса играют ключевую роль в оценке способности технологического процесса ремонтного предприятия производить изделия и оказывать услуги, соответствующие заданным стандартам качества [3-5]. Эти показатели помогают ремонтным предприятиям понять, насколько вероятно, что продукция будет соответствовать установленным требованиям, что, в свою очередь, критически важно для поддержания конкурентоспособности на рынке. Это важно, как при дефектации деталей вначале процесса ремонта [6], так и при испытании отремонтированной техники [7].

При оценке качества продукции, важным аспектом является то, что все показатели должны находиться в пределах допустимых границ [8, 9]. При ремонте машин это главным образом параметры точности деталей и соединений [10]. Это означает, что изделия должны не только соответствовать определенным требованиям, но и не превышать заранее установленные пределы, которые могут быть связаны с размером, прочностью, эстетическими характеристиками и другими важными параметрами. Если показатели качества выходят за пределы допустимого диапазона, это может сигнализировать о наличии проблем в технологическом процессе, которые требуют немедленного внимания и исправления.

Показатели возможностей процесса дают возможность оценить надежность и стабильность производственного процесса ремонтных предприятий. Они учитывают множество факторов, которые могут влиять на конечный продукт.

Для определения показателей возможностей процесса часто используются статистические методы и анализ данных. Сбор информации о показателях качества изделий, произведенных в различные временные промежутки, позволяет провести детальный анализ и понять, насколько стабильны и предсказуемы результаты производственного процесса ремонтного предприятия. При этом важно помнить, что показатели возможностей процесса не являются абсолютной мерой качества. Они предоставляют лишь информацию о вероятности того, что процесс будет производить изделия с заданными характеристиками.

Существует несколько ключевых индикаторов, которые часто используются для оценки возможностей процесса. Среди них можно выделить индекс воспроизводимости, коэффициент точности, индекс центрированности, индекс работоспособности процесса.

Индекс воспроизводимости является безразмерной характеристикой, которая отражает связь между параметрами технологического процесса и его допуском. Для определения этого индекса используются верхняя и нижняя границы допуска, обозначаемые как U и L соответственно, а также изменчивость процесса, обозначаемое как Δ .

Если показатель качества имеет нормальное распределение и его среднее значение находится в середине поля допуска, то индекс воспроизводимости процесса C_p рассчитывается формуле [11, 12]:

$$C_p = \frac{U - L}{\Delta} \quad (1)$$

Индекс воспроизводимости позволяет оценить, насколько технологический процесс способен производить продукцию в пределах заданных допусков. Чем выше значение индекса воспроизводимости, тем более стабильным и надежным является процесс производства.

Также широко используется коэффициент точности k_T , который рассчитывается по формуле [11, 12]:

$$k_T = \frac{1}{p} \quad (2)$$

Коэффициент точности показывает, насколько точно процесс производства соответствует установленным стандартам.

Уровень несоответствий и дефектность изделий зависят не только от значения коэффициента надежности или точности, но и от качества контроля и испытаний, применяемых в процессе производства. Для достижения высокого качества продукции необходимо установить оптимальные значения коэффициентов и регулярно проводить контрольные мероприятия для выявления и устранения возможных несоответствий.

Для учета расхождения между средним значением и целевым уровнем, вводится индекс центрированности k , который определяется по формуле [11, 12]:

$$k = \frac{U - L}{U + L} \quad (3)$$

При точном центрировании $k = 0$, а при совпадении среднего уровня с одной из границ поля допуска $k = 1$.

Индекс работоспособности процесса не может превышать индекс воспроизводимости. Этот индекс показывает, насколько процесс настроен и способен выполнять свои функции [11, 12]:

$$C_{pk} = C_p \cdot (1 - k) \quad (4)$$

Он может быть записан в виде:

$$C_{pk} = \min C_{pu}, C_{pl} \quad (5)$$

Таким образом, индекс работоспособности предоставляет информацию о том, насколько процесс настроен и способен достичь требуемого уровня качества. Если индекс работоспособности ниже индекса воспроизводимости, это может указывать на проблемы в процессе, требующие дополнительной настройки или улучшений.

Индексы воспроизводимости и работоспособности являются важными параметрами для контроля качества процесса производства

[13, 14]. Они помогают определить, насколько стабильны и надежны процессы, а также позволяют выявить потенциальные проблемы и улучшить эффективность производства.

Кроме того, использование показателей возможностей процесса является важным инструментом в области контроля качества и улучшения производственных процессов. Они позволяют предсказать и управлять качеством изделий, что особенно важно в условиях высокой конкуренции. Например, компании, которые активно используют показатели возможностей процесса, могут быстрее реагировать на изменения в качестве продукции и вносить необходимые коррективы, что в конечном итоге приводит к снижению уровня бракованной продукции и повышению удовлетворенности клиентов.

Не менее важным аспектом является то, что показатели возможностей процесса помогают в разработке стратегий для повышения эффективности производства.

Показатели возможностей процесса являются важным инструментом для оценки и управления качеством продукции. Они позволяют производителям не только контролировать текущее состояние процессов, но и планировать дальнейшие шаги по их улучшению. В современном мире, где требования к качеству постоянно растут, а конкуренция становится все более жесткой, использование таких показателей становится необходимостью для успешного ведения бизнеса. Разработка и внедрение систем контроля качества, основанных на показателях возможностей процесса, может стать ключевым фактором, способствующим повышению конкурентоспособности и устойчивости компании на рынке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Никольская, В. А. Качество, как фактор увеличения объема оказываемых населению услуг / В. А. Никольская, Г. В. Кошкина // Экономика и предпринимательство. – 2024. – № 8(169). – С. 148-152.
2. Леонов, О. А. Исследование затрат и потерь при контроле шеек коленчатого вала в условиях ремонтного производства / О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2013. – № 2(58). – С. 71-74.
3. Производство и ремонт отечественных машин для агропромышленного комплекса с позиции принципа 5М / М. Н. Ерохин, О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба [и др.] // Вестник машиностроения. – 2023. – Т. 102, № 8. – С. 701-704.
4. Редреев, Г. В. Математическая модель процесса обеспечения качества технического сервиса / Г. В. Редреев // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2018. – № 3(31). – С. 75-85.

5. Золотарева, Е. Н. Качество услуг как основа эффективного управления организацией / Е. Н. Золотарева // Экономика. Управление. Право. – 2012. – № 2-2(26). – С. 5-6.

6. Леонов, О. А. Совершенствование методики проведения микрометража и дефектации шеек коленчатых валов / О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2007. – № 3-1(23). – С. 81-85.

7. Леонов, О. А. Нормирование погрешности косвенных измерений при приёмо-сдаточных испытаниях двигателей / О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба // Измерительная техника. – 2022. – № 8. – С. 23-27.

8. Методика оценки качества процессов предприятий технического сервиса / О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба, Г. Н. Темасова, Ю. Г. Вергазова // Компетентность. – 2021. – № 2. – С. 32-38.

9. Проектирование и анализ качества контрольных процессов на ремонтных предприятиях / Г. И. Бондарева, О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба [и др.]. – М. : ООО «ОнтоПринт», 2020. – 95 с. – ISBN 978-5-6042437-3-2.

10. Леонов, О. А. Обеспечение качества ремонта унифицированных соединений сельскохозяйственной техники методами расчета точностных параметров : специальность 05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Леонов Олег Альбертович. – Москва, 2004. – 324 с.

11. ГОСТ Р ИСО 22514-4-2021. Статистические методы. Управление процессами. Часть 4. Оценка показателей воспроизводимости и пригодности процесса; Введ. 01.01.2022. – М. : Изд-во Стандартиформ, 2021. – 40 с.

12. ГОСТ Р ИСО 28597–2020. Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по альтернативному признаку. Уровни качества в виде числа несоответствующих единиц продукции на миллион; Введ. 01.06.2021. – М. : Изд-во Стандартиформ, 2020. – 15 с.

13. Анцыферов, С. С. Методика контроля качества технологических процессов интеллектуального машиностроительного производства / С. С. Анцыферов, К. Н. Фазилова, К. Е. Русанов // Наукоемкие технологии. – 2023. – Т. 24, № 7. – С. 39-43.

14. Жукова, Е. Е. Удовлетворенность клиентов: методы и показатели оценки качества обслуживания / Е. Е. Жукова // Экономика образования. – 2021. – № 4(125). – С. 60-69.

Об авторе:

Темасова Галина Николаевна, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», temasova@rgau-msha.ru.

About the author:

Galina N. Temasova, D.Sc. (Engineering), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, temasova@rgau-msha.ru.

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДКАЧКИ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ШИН НА ТРАКТОРАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**Р. Н. Федоткин, Е. В. Титова, Д. В. Анашин, Д. М. Дудин,
Н. И. Дегтярев**

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В работе предлагается решение актуальной проблемы оптимизации сельскохозяйственных операций – автоматическая система регулировки давления в бескамерных шинах. Система позволит снизить эксплуатационные расходы за счёт уменьшения износа шин и расхода топлива, повысить производительность и комфорт оператора.

Ключевые слова: шины, давление в шинах, система подкачки шин, контроль давления воздуха в шине, автоматизированная работа.

APPLICATION OF AUTOMATIC TIRE INFLATION AND PRESSURE REGULATION SYSTEM ON AGRICULTURAL TRACTORS

**R. N. Fedotkin, E. V. Titova, D. V. Anashin, D. M. Dudin,
N. I. Degtyarev**

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper offers a solution to the actual problem of optimization of agricultural operations - an automatic system of pressure adjustment in tubeless tires. The system will reduce operating costs by reducing tire wear and fuel consumption, increase productivity and operator comfort.

Keywords: tires, tire pressure, tire inflation system, tire pressure control, automated operation.

Введение

Модернизация сельскохозяйственной техники является одним из условий повышения количества и качества получаемой продукции. Среди различных факторов, влияющих на эффективность производительности тракторов, особое значение имеет состояние колёс, а частности – давление в шинах. Недостаточное давление приводит к повы-

шенному износу покрышек, снижению тягового усилия и как следствие снижению производительности. Избыточное давление может привести к ухудшению сцепления с грунтом, повреждению почвы, снижению комфорта оператора. Стандартные методы контроля и регулирования давления в шинах достаточно трудоёмки и не обеспечивают его постоянного поддержания на оптимальном уровне, что ведёт к дополнительным экономическим затратам [1-3].

Основная часть

Современная система CTIS не только мониторинга, но и регулирования давления в шинах позволяет поддерживать или настраивать необходимое давление для конкретных условий. Система CTIS (Central Tire Inflation System) – система, обеспечивающая контроль давления воздуха в каждой из шин транспортного средства для улучшения характеристик на различных поверхностях.

Существует два типа систем для регулирования давления в шинах CTIS (MICHELIN):

С внешним расположением воздухопроводящих каналов. Воздух подаётся к шине с помощью шлангов, расположенных с внешней стороны колеса автомобиля.

С внутренним расположением каналов. Характерно для военных и специальных транспортных средств, так как при этом нет необходимости в использовании легкоуязвимых внешних трубок или шлангов.

Однако, специфика сельскохозяйственных тракторов, заключается в значительных нагрузках на шины, непредсказуемых условиях работы (поля, дороги), длительных периодах простоя и работы [4-6].

В работе представлена концепция системы подкачки и регулирования давления в бескамерных шинах для сельскохозяйственной техники. Существующая система компании Fendt разработана с учётом особенностей тракторов и обеспечивает непрерывный мониторинг и автоматическое поддержание оптимального давления в шинах в режиме реального времени, адаптируясь к меняющимся условиям эксплуатации техники.

Предлагаемая концепция:

Предлагаемая система предназначена для автоматического поддержания оптимального давления в бескамерных шинах сельскохозяйственного трактора, минимизируя расход топлива и износ шин, повышая производительность и комфорт работы.

Рисунок 1 – Схема автоматического поддержания оптимального давления в шинах (САП)

Необходимое оборудование для работы системы автоматического поддержания оптимального давления в шинах [3]:

- колёсный клапан: расположен на каждом колесе и изолирует шину от системы, когда она не используется. Клапан обеспечивает накачку и сдувание шин по требованию;
- электронный блок управления (ЭБУ): обрабатывает команды водителя, отслеживает сигналы по всей системе и сообщает о необходимости проверки давления в шинах каждые 10 минут;
- пневматический блок управления: получает команды от ЭБУ и управляет колесными клапанами и воздушной системой;
- датчик давления: передаёт показания давления в шинах в ЭБУ;
- панель управления оператора: позволяет водителю выбирать режимы регулирования давления в шинах в соответствии с текущими условиями.

Влияние на почву и урожайность

На основании имеющейся системы подкачки шин, установленной на тракторе Fendt 800 Varío, в статье предлагается модернизировать трактор Беларусь 82.

Рассматриваемая система, известная как VarioGrip, позволяет динамически изменять давление от 0,6 до 2,5 бар в зависимости от условий работы. Используя компрессор с водяным охлаждением, система повышает производительность и снижает уровень шума. Правильное

давление увеличивает площадь контакта шин с почвой, что снижает скольжение и сопротивление качению, позволяя обрабатывать на 8 % больше площади. Снижение давления до минимальных значений (0,6 бар) уменьшает уплотнение почвы и сохраняет ее структуру, что важно для здоровья почвы и повышения урожайности. Увеличенная площадь контакта шин способствует равномерному распределению нагрузки и уменьшает максимальное давление на грунт [7]. Таким образом, VarioGrip не только улучшает эксплуатационные характеристики трактора, но и положительно влияет на урожайность, создавая благоприятные условия для роста растений.

Независимое исследование Университета прикладных наук Agrarwirtschaft Soest, проведенное в августе 2014 года на тракторе Fendt 828 Vario, подтверждает, что система регулирования давления в шинах VarioGrip значительно повышает эффективность сельскохозяйственной техники. Исследование показало улучшение сцепления с почвой и снижение давления на неё во время тяжелых работ и транспортировки. Результаты показывают экономическую выгоду от использования данной системы [5].

а

б

Рисунок 2 – Пример установки и работы системы на тракторе Беларусь 82:

а – схема строения САП на тракторе Беларусь 82; *б* – схема строения VarioGrip в колесе; 1 – линия подводки к клапану; 2 – линия управления к клапану; 3 – заправочная магистраль – впускное отверстие на поворотном кулаке; 4 – линия управления – впускное отверстие на поворотном кулаке; 5 – передний мост с радиальным поворотным соединением

Система включает в себя компоненты, представленные в таблице

1.

Таблица 1 – Предлагаемые комплектующие

Датчики давления	
Тип	Беспроводные (Bluetooth)
Диапазон измерения	0...10 бар
Точность измерения	±0,1 бар
Частота опроса	1...100 Гц
Электронный блок управления (ЭБУ)	
Микроконтроллер	STM32H747
Питание	12 В, от сети трактора
Компрессор	
Тип	металлический двухпоршневой компрессор Gigant 12V
Производительность	85 литров в минуту
Максимальное давление	10 бар
Потребляемая мощность	30 А
Система охлаждения	пассивное
Клапаны регулировки давления	
Тип	Программируемый датчик 315 433 МГц Мх TPMS 2в1, регулируемый клапан, входящий в состав системы контроля давления в шинах
Диапазон регулирования	1...9 бар
Время отклика	0,001 и 0,3 сек

Экономическая целесообразность

Исследования, проведенные Университетом прикладных наук Agrarwirtschaft Soest, выявили существенное экономическое преимущество системы VarioGrip. В ходе испытаний было зафиксировано снижение расхода топлива на уровне 8 % в типичных полевых условиях. Это обусловлено оптимизацией контактного давления шин с почвой, что минимизирует сопротивление качению. Экономический эффект от использования VarioGrip оценивается в 50 000 евро за 10 000 моточасов эксплуатации, что делает ее привлекательным вложением для сельскохозяйственных предприятий. Кроме того, за счет повышения эффективности работы, VarioGrip обеспечивает увеличение площади обработки до 8 % за тот же промежуток времени [5].

Вывод

Внедрение системы автоматической подкачки и регулировки давления бескамерных шин, аналогично VarioGrip (рисунок 1 и 2), в трактор Беларусь 82 может значительно повысить его эффективность. Данная система позволяет оптимизировать давление в шинах в зависимо-

сти от условий эксплуатации, что приводит к снижению расхода топлива до 8 % и уплотнения почвы. Интеграция таких технологий в Беларусь 82 обеспечит улучшение управляемости и производительности, что является основным фактором для повышения конкурентоспособности отечественной техники в аграрном сегменте.

Таким образом, данная система не только повысит эксплуатационные характеристики трактора, но и сделает его более конкурентноспособным. Это позволит производителям отечественной техники предлагать современные решения, способствуя развитию агропромышленного комплекса (АПК).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Техническое регулирование в области сельскохозяйственных самоходных машин с учетом переоснащения и внесения изменений в конструкцию / О. Н. Дидманидзе, Р. С. Федоткин, В. А. Крючков [и др.] // Транспортное дело России. – 2024. – № 2. – С. 91-94.
2. Техническая эксплуатация автомобилей / О. Н. Дидманидзе, А. А. Солнцев, Г. Е. Митягин [и др.]. – М. : Триада, 2012. – 455 с.
3. Дудин, Д. М. Разработка автоматизированной системы адаптации колесного движителя автомобилей и тракторов к почвенно-климатическим условиям / Д. М. Дудин // Сборник трудов, приуроченных к 76-й Всероссийской студенческой научно-практической конференции, посвященной 155-летию со дня рождения В. П. Горячкина, Москва, 14-17 марта 2023 года. – М. : Общество с ограниченной ответственностью «Мегаполис», 2023. – С. 20-23.
4. Федоткина, Д. С. Особенности применения беспилотного транспортного средства в логистике сельскохозяйственного производства / Д. С. Федоткина // Чтения академика В. Н. Болтинского : сборник статей научно-практической конференции, посвященный 90-летию Шарова Николая Михайловича, Москва, 23-24 октября 2024 года. – М. : ООО «Сам Полиграфист», 2024. – С. 418-424.
5. Модернизация конструкции мобильного роботизированного опрыскивателя / А. С. Дорохов, Р. С. Федоткин, В. А. Крючков, А. С. Овчаренко // Инновации в сельском хозяйстве. – 2019. – № 3(32). – С. 177-185.
6. Дидманидзе, О. Н. Основы работоспособности и надежность технических систем / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев. – М. : Учебно-методический центр «Триада», 2020. – 232 с.
7. Кузьмин, В. А. Искусственная нейронная сеть для обоснования параметров ходовых систем тракторов / В. А. Кузьмин, Р. С. Федоткин, В. А. Крючков // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2017. – № 4. – С. 24-30.
8. Роботизированное транспортное средство с минимальным воздействием на окружающую среду / Р. С. Федоткин, Н. И. Дегтярев, К. С. Дмитриев,

А. С. Овчаренко // Экология промышленного производства. – 2021. – № 4(116). – С. 59-63.

Об авторах:

Федоткин Роман Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», fedotkin@rgau-msha.ru.

Титова Елена Владимировна студент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», planders735@gmail.com.

Анашин Дмитрий Викторович, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», anashin@rgau-msha.ru.

Дегтярев Никита Иванович, ассистент кафедры тракторов и автомобилей, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», n.degtyarev@rgau-msha.ru.

Дудин Даниил Максимович, ассистент кафедры тракторов и автомобилей, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», d.dudin@rgau-msha.ru.

About the authors:

Roman S. Fedotkin, Cand.Sc. (Engineering), associate professor of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, fedotkin@rgau-msha.ru.

Elena V. Titova, student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, planders735@gmail.com.

Dmitry V. Anashin, senior lecturer, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, anashin@rgau-msha.ru.

Nikita I. Degtyarev, assistant of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, n.degtyarev@rgau-msha.ru.

Daniil M. Dudin, assistant of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, d.dudin@rgau-msha.ru.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУР ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ КОРПУСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Н. К. Толочко¹, П. В. Авраменко¹, В. Б. Кравцов¹,
П. В. Голиницкий², У. Ю. Антонова²

¹ОУ «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

²ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Рассмотрена возможность использования металлических многослойных структур при изготовлении корпусных элементов сельскохозяйственной техники, что позволит снизить металлоемкость современных конструкций специальных машин для сельского хозяйства и в ряде случаев снизить себестоимость их производства.

Ключевые слова: металлические многослойные структуры, усталостная прочность, аддитивная технология листового ламинирования.

THE POSSIBILITY OF USING METAL MULTILAYER STRUCTURES IN THE MANUFACTURING OF HOUSING ELEMENTS OF AGRICULTURAL MACHINERY

N. K. Tolochko^a, P. V. Avramenko^a, V. B. Kravtsov^a,
P. V. Golinitzky^b, U. Y. Antonova^b

^aBelarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Republic of Belarus

^bRussian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. The possibility of using metal multilayer structures in the manufacture of body elements of agricultural machinery is considered, which will reduce the metal consumption of modern designs of special machines for agriculture and, in some cases, reduce their production costs.

Keywords: metal multilayer structures, fatigue strength, additive sheet lamination technology.

Надежность и качество сельскохозяйственной техники складывается из множества составляющих [1-4]. В процессе эксплуатации чаще всего наблюдаются постепенные отказы, которые теоретически и

практически можно спрогнозировать. Особенно важна проектная оценка надежности, в том числе путем изменения параметров прочности, износостойкости, точности и др. [5, 6]. Усталостное разрушение является одним из наиболее часто встречающихся видов отказов деталей сельскохозяйственной техники. Усталостное разрушение имеет место в тех случаях, когда детали подвержены воздействию циклически изменяющихся во времени нагрузок, и происходит в результате зарождения усталостных трещин и их дальнейшего развития вплоть до окончательного разрушения деталей.

Для повышения усталостной прочности деталей применяются различные технические подходы к совершенствованию их конструкции. Поскольку большинство деталей сельскохозяйственной техники являются металлическими, то один из современных подходов, применяемых при их изготовлении, связан с целенаправленным созданием металлических многослойных структур.

В последние годы выполнен ряд экспериментальных исследований усталостной прочности металлических образцов с многослойной (слоистой) структурой (Т-М-структурой), создаваемой по традиционным технологиям путем соединения листов металлов между собой сваркой взрывом или горячей пакетной прокаткой [7-12]. Т-М-структуры обычно состоят из чередующихся слоев двух разнородных металлов (чаще всего сталей разных марок), т.е. представляют собой слоистые композиты, но иногда они содержат слои одинакового состава. Металлические образцы с Т-М-структурой (Т-М-образцы) обладают более высокой усталостной прочностью по сравнению с соответствующими металлическими образцами с обычной монолитной структурой и служат в качестве заготовок, из которых, используя различные способы металлообработки, изготавливают металлические детали.

В машиностроении при изготовлении различных деталей, включая детали сельскохозяйственной техники, все большее распространение находят различные виды аддитивных технологий, позволяющих создавать детали непосредственно из металлов [13]. Среди них особое место занимает аддитивная технология листового ламинирования (Sheet Lamination, SL), согласно которой детали получают путем пакетирования специально приготовленных контурных выкроек из листовых металлов и их соединения между собой различными известными способами (в основном с помощью механического крепежа и клея) [14]. Особенность SL-технологии состоит в том, что получаемые с ее помощью металлические детали имеют многослойную (слоистую)

структуру (SL-M-структуру), подобную той, которой обладают металлические Т-М-образцы. Отсюда следует ожидать, что получаемые таким образом металлические детали (SL-M-детали), так же, как и экспериментальные металлические Т-М-образцы, обладают повышенной усталостной прочностью.

На рисунке 1 показан внешний вид листовых выкроек с оптимизированной топологией и собранный из них SL-M-грядиль. Благодаря топологической оптимизации масса грядиля уменьшилась примерно на 20 % по сравнению с исходной. При изготовлении грядиля в заводских условиях с использованием SL-технологии производительность изготовления увеличилась примерно в 1,5 раза, а себестоимость изготовления уменьшилась примерно в 1,5 раза по сравнению с традиционным изготовлением. Полевые испытания SL-M-грядиля показали, что он обладает требуемой работоспособностью.

а *б*
**Рисунок 1 – Листовые выкройки SL-M-грядиля (а) и SL-M-грядиль
в составе плуга (б)**

Таким образом, важно рассмотреть факторы, обусловленные конструктивными особенностями металлических Т-М-образцов и металлических SL-M-деталей и влияющие на усталостную прочность корпусных деталей с тем, чтобы определить возможные пути повышения усталостной прочности SL-M-деталей с учетом технологических осо-

бенностей их аддитивного изготовления. Применение таких технологий позволит снизить металлоемкость современных конструкций сельскохозяйственной техники и в ряде случаев снизить их себестоимость производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Производство и ремонт отечественных машин для агропромышленного комплекса с позиции принципа 5М / М. Н. Ерохин, О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба, Ю. Г. Вергазова, Д. М. Скороходов // Вестник машиностроения. – 2023. – № 8. – С. 701-704.
2. Современная агроинженерия / В. И. Трухачев, О. Н. Дидманидзе, М. Н. Ерохин [и др.]. – М. : Изд-во ООО «Мегаполис», 2022. – 413 с.
3. Основы работоспособности и надежность технических систем / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев. – М. : Изд-во «Триада», 2020. – 232 с.
4. Leonov, O. A. Calculation of Fit Tolerance by the Parametric Joint Failure Model / O. A. Leonov, N. Z. Shkaruba // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2020. – Vol. 49, №. 12. – Pp. 1027-1032.
5. Расчет допуска посадки с зазором для повышения относительной износостойкости соединений / О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба, Г. Н. Темасова, Ю. Г. Вергазова, П. В. Голиницкий // Трение и износ. – 2023. – Т. 44 (3). – С. 261-269.
6. Расчет посадок с натягом при комбинированном нагружении / О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба, Ю. Г. Вергазова // Вестник машиностроения. – 2021. – № 3. – С. 25-28.
7. Ложкин, В. С. Структура и механические свойства многослойных материалов, полученных сваркой взрывом тонколистовых пластин из мартенситно-стареющей, хромоникелевой аустенитной и низкоуглеродистой сталей : специальность 05.16.09 «Материаловедение (по отраслям)» : дис. ... канд. техн. наук / Ложкин Василий Сергеевич, 2014. – 198 с.
8. Многослойные конструкции повышенной трещиностойкости, сформированные сваркой взрывом / Р.П. Дидык, В.А. Козечко // Автоматическая сварка. – 2015. – № 2. – С. 54-57.
9. Батаев, И. А. Формирование локализованных зон перемешивания в условиях высокоскоростного соударения металлических материалов и их влияние на структуру и свойства сварных соединений : специальность 05.16.09 «Материаловедение (по отраслям)» : дис. ... д-ра тех. наук / Батаев Иван Анатольевич, Томск, 2019. – 348 с.
10. Каманцев, И. С. Сопротивление разрушению и сопутствующие росту трещин явления в монолитных и слоистых металломатричных композиционных материалах : специальность 05.16.09 «Материаловедение (по отраслям)» : дис. ... канд. техн. наук / Каманцев Иван Сергеевич, 2019. – 138 с.

11. Минаков, А. А. О влиянии деформационных механизмов на увеличение циклической долговечности в многослойных стальных материалах / А.А. Минаков, А.И. Плохих // Проблемы механики современных машин : материалы VII Междунар. науч. конф. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2018. – Т. 1. – С. 259-262.

12. Минаков, А. А. Исследование поведения многослойных стальных материалов в условиях малоциклового усталости при знакопеременном изгибе с сильным нагружением / А. А. Минаков, А. С. Титова, Б. В. Букеткин // Новые материалы и технологии в машиностроении. – 2019. – № 29. – С. 51-57.

13. Зленко, М. А. Аддитивные технологии в машиностроении / М. А. Зленко, М. В. Нагайцев, В. М. Довбыш. – М. : ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.

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

Об авторах:

Толочко Николай Константинович, доктор физико-математических наук, профессор, ОУ «Белорусский государственный аграрный технический университет», n.tolochko1951@mail.ru.

Авраменко Павел Викторович, кандидат технических наук, доцент, ОУ «Белорусский государственный аграрный технический университет», minsk888@mail.ru.

Кравцов Вячеслав Борисович, старший преподаватель, ОУ «Белорусский государственный аграрный технический университет», kravcovslava@tut.by.

Голиницкий Павел Вячеславович, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», gpv@rgau-msha.ru.

Антонова Ульяна Юрьевна, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», uantonova@rgau-msha.ru.

About the authors:

Nikolay K. Tolochko, D.Sc. (Physics and Mathematics), professor, Belarusian State Agrarian Technical University, n.tolochko1951@mail.ru.

Pavel V. Avramenko, and.Sc. (Engineering), associate professor, Belarusian State Agrarian Technical University, Cminsk888@mail.ru.

Vyacheslav B. Kravtsov, Senior Lecturer, Belarusian State Agrarian Technical University, kravcovslava@tut.by.

Pavel V. Golitsky, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, gpv@rgau-msha.ru.

Ulyana Yu. Antonova, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, uantonova@rgau-msha.ru.

АГРОДРОНЫ – АЛЬТЕРНАТИВА НАЗЕМНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ?

Е. В. Труфляк

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина», г. Краснодар, Российская Федерация

Аннотация. В статье описывается влияние шин низкого на урожайность зерновых колосовых культур. Рассматривается возможность использования агродронов для снижения антропогенного уплотняющего воздействия колёсных движителей на почву. Приводятся примеры использования беспилотных систем для дифференцированного внесения удобрений. Рассчитана экономическая эффективность использования беспилотной технологии.

Ключевые слова: повышение урожайности, шины низкого давления, беспилотные системы, агродроны, уплотнение почвы.

ARE AGRO DRONES AN ALTERNATIVE TO LAND-BASED TECHNOLOGY?

E. V. Truflyak

Kuban State Agrarian University named after I. T. Trublin, Krasnodar, Russian Federation

Abstract. The article describes the influence of low tires on the yield of grain ear crops. The possibility of using agrodrone to reduce the anthropogenic compaction effect of wheeled propulsors on the soil is considered. Examples of using unmanned systems for differentiated fertilizer application are given. The economic efficiency of using unmanned technology is calculated.

Keywords: yield improvement, low-pressure tires, unmanned systems, agrodrone, soil compaction

Повышение урожайности зерновых колосовых культур является важной задачей продовольственной безопасности страны. В настоящее время невозможно получать хорошие результаты без использования мощных тракторов и широкозахватных сельскохозяйственных машин, давление шин которых оказывает влияние на урожайность возделываемых культур.

Влияние давления в шинах и методов обработки почвы на ее урожайность изучали около 9 лет ученые британского университета Харпера Адамса, в результате которого определено, что использование

шин низкого давления, технологии изготовления Michelin Ultraflex позволяет повысить в среднем на 4 % урожайность озимой пшеницы.

Международный эксперимент по оценке эффективности применения шин низкого давления Michelin AxioBib2, технологии изготовления Michelin Ultraflex при возделывании озимого ячменя проводился нами на поле 155 га в Гиагинском районе Республики Адыгея с 12 октября 2021 г. по 4 июля 2022 г. Цель – определить с использованием цифровых технологий, дистанционных и наземных измерений, на какой из элементов структуры урожая и на каком этапе оказывает наибольшее влияние давление в шинах при возделывании озимого ячменя. В результате при сравнении эффективности использования шин низкого давления с шинами стандартного давления получили повышение биологической урожайности на 4,4 %, комбайновой – на 9,5 %.

Шины являются незначительной частью в расходах сельскохозяйственного предприятия – около 2 %; основные затраты: удобрения, топливо, запчасти (более 50 %) – данные компании. При расчете эффективности работы шин Michelin показатели рассчитывают исходя из реальных замеров, заранее подготовленных специалистами на территории конкретного хозяйства, с учетом специфики транспортных средств, а также особенностей ведения сельскохозяйственной деятельности: проскальзывание эффективнее на 4 %; топливная эффективность выше на 11 %; на 10 % меньше уплотнение почвы; прирост урожая на 6 %.

При этом актуальным является разработка интеллектуальной системы определения оптимального давления воздуха в шинах колес тракторов и его регулирования при функционировании.

Возможной альтернативой при выполнении некоторых технологических операций, снижающих антропогенное уплотняющее воздействие колесных движителей современной энергонасыщенной и тяжелой техники на почву может быть использование агродронов. Под неологизмом «агродрон» понимается беспилотная авиационная система для непосредственного выполнения сельскохозяйственных операций (технологических операций в растениеводстве, садоводстве, рисоводстве и др.), таких как опрыскивание, внесение удобрений, посев и т. п.

Рассмотрим некоторые примеры использования беспилотных систем на основе проведенных нами экспериментов.

В первом случае беспилотники использовались для аэросъемки полей непосредственно перед проведением подкормки азотными удобрениями. На базе предприятия «Север Кубани» (АО фирма «Агрокомплекс» им. Н. И. Ткачева) со 2 апреля по 20 июля 2021 г. проводился эксперимент, целью которого являлся сравнительный анализ дифференцированного внесения удобрений по картам-заданиям с использованием RGB (Биоиндекс) и мультиспектрального (NDVI) изображений, полученных при помощи беспилотного летательного аппарата. Расчет экономической эффективности показал, что использование Биоиндекса и дифференцированного внесения удобрений способствовали повышению урожайности на 3,58 ц/га по сравнению с внесением удобрений в одной дозе. Дополнительные капиталовложения для поля площадью 96 га составили 8640 руб., а эффект от прибавки урожая – 447 тыс. руб. Дополнительные капвложения окупаются менее, чем за один сезон.

На опытном поле учхоза «Кубань» с 8.10.2021 г. по 21.06.2022 г. проводили эксперимент изучения дифференцированного внесения аммиачной селитры, гербицидной, инсектицидной и фунгицидной обработках при возделывании озимого ячменя с использованием сельскохозяйственного дрона и наземных средств механизации. Цель исследований – апробация беспилотной технологии внесения материалов при возделывания озимого ячменя с определением урожайности и экономической эффективности в сравнении с наземной технологией обработки озимого ячменя. Каждый сорт озимого ячменя был посеян делянками в 3-кратной повторности с четырьмя вариантами.

В процессе проведенного эксперимента выполнено сравнение беспилотной технологии внесения азотных удобрений, средств защиты растений (беспилотный летательный аппарат Agras T10) и наземной с использованием разбрасывателя (МТЗ-1221 + разбрасыватель Amazone ZA-X Perfect) удобрений и опрыскивателя (МТЗ-80 + опрыскиватель Amazone UF-901).

Перед подкормкой аммиачной селитрой осуществляли облет беспилотником Phantom 4 Pro с получением ортофотоплана с дальнейшим преобразованием в индекс вегетации «Биоиндекс».

В результате проведенных исследований выполнена апробация беспилотной технологии внесения материалов при возделывании озимого ячменя с полученными данными урожайности на каждой делянке и затрат материалов. Расчет экономической эффективности использования беспилотной технологии показал, что ее производительность

меньше в 4 раза. При использовании этой технологии с дифференцированным внесением удобрений повысилась урожайность озимого ячменя на 3,6 % при уменьшении количества удобрений на 2 %. Расход горюче-смазочных материалов снизился в 1,4 раза, металлоемкость – в 26,7 раза. Дополнительные капиталовложения при использовании наземной технологии составляют 4771 тыс. руб.

Совместно с компанией «Агродом» в Темрюкском районе Краснодарского края выполнялась апробация беспилотной технологии возделывания риса.

Проводились исследования посева риса в залитый водой чек сельскохозяйственными дронами Agras T40, Joyance 606 и сеялкой.

Беспилотная технология включала посев семян в воду агродронами (сеялкой посев осуществлялся в сухую землю); внесение удобрений (две подкормки карбамидом в фазах 3–4 и 8–9 настоящих листьев); опрыскивание (обработка почвенным гербицидом, гербицидом сплошного действия и селективным гербицидом; инсектицидная и фунгицидная обработки; десикация).

Проводились исследования посева риса в залитый водой чек агродроном Agras T40, емкость которого составляла 70 л, грузоподъемность – 50 кг (43 кг риса). Площадь рисового чека – 3,4 га; ширина захвата при посеве – 8 м; перекрытие – 1 м; высота полета – 5 м. Норма высева семян – 180 кг/га. При полете зарядки аккумулятора хватало на 3 вылета; один вылет – 1,3 мин с обработкой 0,23 га чека. Расход топлива на 1 бензогенератор составил 20 л/смену (8...10 ч).

Посев семян в воду, в отличие от посева сеялкой на сухое поле, обеспечивает более равномерные всходы и исключение смыва семян при заливе воды.

Также проводились исследования посева риса в воду агродроном Joyance 606, емкость которого составляла 30 л; грузоподъемность – 27 кг (21 кг риса). Площадь рисового чека была 2,69 га, ширина захвата при посеве – 8 м; высота полета – 5 м, норма высева семян – 160 кг/га.

Автоматизация подсчета семян осуществлялась в программе «Count Things from photos». В среднем по дрону Agras T40 (сорт 1) при норме высева 180 кг/га количество семян составило 511 шт./кв. м (разница 9 %); при норме высева 160 кг/га – Joyance 606 (сорт 2) – 485 шт./кв.м (разница 23 %).

На 29 день осуществлялся анализ всходов после посева дронами Agras T40, Joyance 606 и сеялкой. Agras T40 (сорт 1) – разница 2 раза; Joyance 606 (сорт 2) – разница 2,1 раза.

У сеялки при норме высева 300 кг/га такие же показатели по всхожести, при этом норма высева больше в 1,7...1,9 раза.

В результате урожайность составила: Agras T40 (сорт 1, норма высева 180 кг/га) – 87 ц/га; Joyance 606 (сорт 2, норма высева 160 кг/га) – 90,6 ц/га; сеялка (сорт 3, норма высева 300 кг/га) – 82,4 ц/га.

Беспилотная технология возделывания риса показала хорошие результаты по сравнению с наземной технологией, но требует дополнительной проверки с единым сортом в течение 3 лет.

Перспективным направлением является использование беспилотных технологий при гербицидной, инсектицидной и фунгицидной обработках и десикациях. К достоинствам применения таких средств можно отнести возможность использования ультрамалообъемного опрыскивания, обработку в автоматическом режиме с функциями полетного задания, дифференцированную обработку полей с различным рельефом, отсутствие прикатывания шинами растений, задействование электропривода и отсутствие выхлопа газов. К недостаткам – ограничение грузоподъемности и ширины захвата обработки, необходимость зарядки аккумуляторных батарей.

На основании проведенных исследований можно резюмировать, что использование беспилотных технологий в сельском хозяйстве имеет свое место в технологии возделывания сельскохозяйственных культур, но требует производственных проверок в хозяйствах различных регионов России.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Интеллектуальная технология определения оптимального давления воздуха в шинах колёс сельскохозяйственных тракторов / Е. В. Труфляк, В. В. Алексеев, С. А. Васильев [и др.] // Агроинженерия. – 2024. – Т. 26, № 2. – С. 13-19. – DOI 10.26897/2687-1149-2024-2-13-19.

2. Будущее тракторостроения в России / В. И. Трухачев, О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы : сборник статей 26-ой Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 12-13 мая 2022 года. – М. : Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, 2022. – С. 15-21.

3. Современные роботизированные технические средства для сельского хозяйства : Аналитический обзор / В. Я. Гольдяпин, Н. П. Мишуров, В. Ф. Федоренко [и др.]. – М. : Российский научно-исследовательский институт информации

и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2023. – 84 с. – ISBN 978-5-7367-1776-7.

4. Перспективы развития тракторостроения в России / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев, М. М. Прокофьев // Техника и оборудование для села. – 2023. – № 5(311). – С. 2-7. – DOI 10.33267/2072-9642-2023-5-2-7.

5. Пуляев, Н. Н. Инновационное развитие сельского хозяйства / Н. Н. Пуляев, Д. Г. Асадов // Доклады ТСХА, Москва, 02-04 декабря 2020 года. ВЫПУСК 293 Часть III. – М. : Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, 2021. – С. 186-188.

6. Дидманидзе, О. Н. Повышение эффективности производственных процессов по надежному снабжению населения продуктами виноградарства в условиях Азербайджана / О. Н. Дидманидзе. – М. : ООО «Триада», 2003. – 115 с.

7. Федорова, С. М. Применение БПЛА в сельском хозяйстве / С. М. Федорова // Чтения академика В. Н. Болтинского : сборник статей научно-практической конференции, посвященный 90-летию Шарова Николая Михайловича, Москва, 23-24 октября 2024 года. – М. : ООО «Сам Полиграфист», 2024. – С. 413-417.

8. Зарубежный опыт цифровизации сельского хозяйства : Аналитический обзор / Н. П. Мишуров, О. В. Кондратьева, В. Я. Гольяпин [и др.]. – М. : Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2022. – 224 с. – ISBN 978-5-7367-1708-8.

9. Дидманидзе, О. Н. Основные направления развития тягово-транспортных средств в АПК / О. Н. Дидманидзе, С. А. Иванов, А. М. Карев // Доклады ТСХА, Москва, 02-04 декабря 2014 года. Том 1. – М. : Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, 2016. – С. 180-182.

10. Дидманидзе, О. Н. Перспективные направления развития транспортной системы России / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев // Чтения академика В. Н. Болтинского : семинар, Москва, 20-21 января 2021 года. – М. : Общество с ограниченной ответственностью «Сам Полиграфист», 2021. – С. 20-26.

11. Реализация технологии беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве / Е. В. Труфляк, Н. Ю. Курченко, С. А. Макаренко, В. Е. Курьян // Научный вестник Луганского государственного аграрного университета. – 2021. – № 2(11). – С. 373-378.

Об авторе:

Труфляк Евгений Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации и технического сервиса, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина», trufljak@mail.ru.

About the author:

Evgeny V. Trufljak, D.Sc. (Engineering), professor, Head of the Department of Operation and Technical Service, FSBEI HE «I. T. Trubilin Kuban State Agricultural University», trufljak@mail.ru.

АДАПТИВНАЯ ТРАНСМИССИЯ ДЛЯ СРЕДСТВ МАЛОЙ МЕХАНИЗАЦИИ

Р. С. Федоткин, Д. В. Анашин, Д. М. Дудин

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассмотрены перспективы и особенности применения гидравлического привода и цифровых технологий в средствах малой механизации и минитракторах сельского хозяйства. Новые подходы к реализации гидравлической трансмиссии и информационные технологии открывают новые возможности для повышения качества выполнения технологических работ при выращивании сельскохозяйственной продукции и снижения ее себестоимости.

Ключевые слова: гидравлическая трансмиссия, гидронасос, гидромотор, трактор, цифровые технологии, программное обеспечение, робот, управление, контроль.

ADAPTIVE TRANSMISSION FOR SMALL-SCALE MECHANIZATION

R. S. Fedotkin, D. V. Anashin, D. M. Dudin

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. The article examines the prospects and features of using hydraulic drive and digital technologies in small-scale mechanization and minitractors of agriculture. New approaches to the introduction of hydraulic transmission and information technology open up new opportunities to improve the quality of technological work in the cultivation of agricultural products and reduce their cost.

Keywords: hydraulic transmission, hydraulic pump, hydraulic motor, tractor, digital technology, software, robot, control, control.

Введение

Потребность в средствах малой механизации в сельском хозяйстве связана с повышением производительности в сельскохозяйственном производстве и возможностью освобождения человека от трудных работ и работ, требующих долгого времени их выполнения. Особенно в последнее время выросла потребность в средствах малой механизации при выполнении работ в тепличных хозяйствах, фермерских хо-

зяйствах и для выполнения работ на приусадебных участках. К вызовам сегодняшнего дня можно отнести тот фактор, что в связи с санкционной политикой недружественных стран сельскохозяйственная отрасль нашей страны стала испытывать недостаток в широком ассортименте специализированных машин и механизмов. В статье предлагается новый принцип реализации технического устройства средства малой механизации, позволяющий упростить его конструкцию, снизить стоимость и адаптировать к реалиям сегодняшнего дня.

Обсуждение работы

К средствам малой механизации можно отнести устройства, выполняющие такие виды работ как:

- обработки земли (плуг, культиватор, аэрационное рыхление);
- высев растений;
- уход за растениями (окучивание картофеля, работы в садоводстве, виноградарстве и др.)
- уборка урожая;
- перевозка грузов;
- уход за животными (обслуживание и кормление скота);
- работы по благоустройству территории и ландшафтного дизайна (высадка растений, расчистка территории, стрижка травяного покрова).

Средства малой механизации как правило агрегатируются на мотоблоках и минитракторах. В последнее время также возникла тенденция производства сельхозработ с применением роботизированной техники. Роботы в сельском хозяйстве особенно актуальны при выполнении повторяющихся работ по уходу за сельскохозяйственными растениями. Они заменяют человеческий труд при производстве тяжелых и малоквалифицированных работ, сводят к минимуму вредное воздействие химических средств, а также повышают производительность труда и снижают себестоимость выращиваемых культур [1, 2].

К проблемам при использовании средств малой механизации в сельском хозяйстве можно отнести:

- высокие первоначальные затраты на приобретение техники;
- необходимость обеспечения надёжности и долговечности, так как техника работает в тяжелых условиях.
- сложность интеграции средств малой механизации с существующими информационными системами;

· ограниченные возможности при выполнении некоторых сельскохозяйственных работ, требующих большого диапазона технологических скоростей.

Под технологическими скоростями при производстве сельхозработ здесь подразумеваются научно обоснованные скорости движения техники при которых достигается высокое качество работы, производительность труда и низкая себестоимость производства продукции. Они находятся в зависимости не только от вида выполняемой операции и физико-механических свойств обрабатываемой среды, но также от конструктивных особенностей рабочих машин и зональных особенностей при использовании техники, например уклон местности.

Задача обеспечения техники необходимыми технологическими скоростями лежит на трансмиссии. Под трансмиссией мобильной техники здесь подразумевается устройство, которое передаёт мощность от двигателя к рабочим органам и колесам с обеспечением необходимой скорости [3].

Механическая трансмиссия состоит из сцепления, коробки передач и главной передачи. Механические трансмиссии также бывают автоматические. Они позволяют машине двигаться с разной скоростью.

Кроме механической трансмиссии также в технике применяются электромеханические и гидравлические трансмиссии.

Отличие гидравлической трансмиссии от механической заключается в способе передачи энергии. В гидравлической трансмиссии для передачи крутящего момента используется давление жидкости, а в механической трансмиссии энергия от двигателя передаётся механическим путем, через взаимодействие зубчатых колёс.

В электромеханической трансмиссии используется электрогенератор, тяговый электродвигатель для передачи мощности и система управления. Достоинства электромеханической трансмиссии в широком диапазоне изменения крутящего момента и скорости вращения, также к достоинствам можно отнести отсутствие непосредственной кинематической связи между узлами. К недостаткам электромеханической трансмиссии относятся относительно большая сложность и стоимость по сравнению с механической трансмиссией.

Гидравлическая трансмиссия передаёт мощность от двигателя к конечным потребителям в машине посредством гидронасоса и гидромотора [4]. Достоинства гидравлической трансмиссии в малых габаритах, массе и простоте конструкции - отсутствует механическая связь между двигателем и ведомыми звеньями трансмиссии. Это позволяет

упростить конструкцию машины в целом. К недостаткам современных гидравлических трансмиссий можно отнести высокие требования к качеству изготовления гидроагрегатов, приводящих к высокой стоимости, а также сложности регулировки скорости вращения гидромотора.

В результате анализа существующих конструкций трансмиссий предлагается использовать для обеспечения средствами малой механизации широкого диапазона технологических скоростей **адаптивную** гидравлическую трансмиссию с применением оригинальной конструкции гидронасоса и гидродвигателя. Под адаптивной трансмиссией здесь понимается трансмиссия с автоматическим изменением скорости в зависимости от задания в контроллере.

Адаптивная гидравлическая трансмиссия позволит осуществить гибкость в изменении мощности и крутящего момента, передаточного числа трансмиссии и общей компоновки машины в целом, в т. ч. она позволит заменить механическую трансмиссию на существующих машинах.

В качестве гидронасоса и гидромотора предлагается использовать конструкцию поршневой машины, изображенной на рисунке 1.

Рисунок 1 – Конструкция поршневой машины

На раме 1 расположен вращающийся эксцентрик 2, к которому прикреплен поршень 3. Внутри поршня расположен поршень, совершающий колебательные движения при вращении цилиндра на эксцентрике.

При сборке последовательно 2 соединенных между собой посредством электроуправляемых муфт сцепления гидронасосов и 2 гидродвигателей, получаем 4 различные скорости, при использовании 3 гидронасосов и 3 гидромоторов – 9 различных скоростей.

Изготовлен опытный макет подобной конструкции (рисунок 2).

Рисунок 2 – Макет поршневой машины

Управление электроуправляемыми муфтами сцепления предполагается с использованием электронного блока управления с контроллером (рисунок 3).

Рисунок 3 – Блок управления

На кафедре тракторов и автомобилей РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева разрабатывается малогабаритное транспортно-технологическое средство на базе либо трицикла, либо пятицикла (рисунок 4).

Рисунок 4 – Транспортно-технологическое средство

На примере этого транспортно-технологического средства не сложно убедиться, что только при использовании гидравлической трансмиссии можно без особых усилий организовать привод с одновременным изменением передаточного отношения на каждое колесо.

В качестве двигателя для привода такого транспортно-технологического средства может использоваться либо электродвигатель, либо двигатель внутреннего сгорания. На кафедре тракторов и автомобилей РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева разработан ДВС пониженного трения в рабочем цилиндре оригинальной конструкции со встречным движением поршней (рисунок 5), который также можно установить на подобную технику.

Рисунок 5 – Макет встречно-поршневого двигателя

В сельском хозяйстве на сегодняшний день существует потребность в широком ассортименте транспортно-технологических средств малой механизации различного типа, что нашло свое отражение в научных работах ученых РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева [5].

Преимуществом же именно гидравлической трансмиссии является то, что ее можно установить на любой тип двигателя.

Заключение

Таким образом, с развитием цифровых технологий, в нашей стране открываются новые возможности в использовании гидравлических трансмиссий с переходом на их адаптивность. Адаптивность трансмиссии, в свою очередь, позволяет реализовать возможность использования технологических скоростей на транспортно-технологических машинах в широком диапазоне, что приведет к увеличению производства сельскохозяйственной продукции, повышению ее качества и снижению ее себестоимости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дидманидзе, О. Н. Трактор сельскохозяйственный: вчера, сегодня, завтра / О. Н. Дидманидзе, С. Н. Девянин // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2020. – Т. 21. № 1. – С. 74-85.
2. Современная агроинженерия / В. И. Трухачев, О. Н. Дидманидзе, М. Н. Ерохин [и др.]. – М. : ООО «Мегаполис», 2022. – 413 с. – ISBN 978-5-6049928-2-1.
3. Арнольд, В. В. Основы учения о машинах / В. В. Арнольд. – Ленинград. – 1925. – 352 с.
4. Никитин, О. Ф. Гидравлика и гидропривод / О. Ф. Никитин. – М. : Издательство МГТУ им. Баумана. – 2010. – 416 с.
5. Дидманидзе, О. Н. Предпосылки создания сельскохозяйственного трактора с гибридным и электрическим приводом / О. Н. Дидманидзе, Р. С. Федоткин, В. А. Крючков // Транспортное дело России. – 2024. – № 1. – С. 307-311.
6. Федоткин, Р. С. Встречно-поршневой двигатель пониженного трения для средств малой механизации / Р. С. Федоткин, Д. В. Анашин, Д. М. Дудин // Сельскохозяйственная техника, обслуживание и ремонт. – 2024. – № 12.
7. Дидманидзе, О. Н. Основы работоспособности и надежность технических систем / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев. – М. : Учебно-методический центр «Триада», 2020. – 232 с.
8. Будущее тракторостроения в России / В. И. Трухачев, О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы : Сборник статей 26-ой Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых,

Москва, 12-13 мая 2022 года. – М. : Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2022. – С. 15-21.

9. Кузьмин, В. А., Искусственная нейронная сеть для обоснования параметров ходовых систем тракторов / В. А. Кузьмин, Р. С. Федоткин, В. А. Крючков // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2017. – № 4. – С. 24-30.

Об авторах:

Федоткин Роман Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», fedotkin@rgau-msha.ru.

Анашин Дмитрий Викторович, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», anashin@rgau-msha.ru.

Дудин Даниил Максимович, ассистент кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», d.dudin@rgau-msha.ru.

About the authors:

Roman S. Fedotkin, Cand.Sc. (Engineering), associate professor of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, fedotkin@rgau-msha.ru.

Dmitry V. Anashin, senior lecturer, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, anashin@rgau-msha.ru.

Daniil M. Dudin, assistant of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, d.dudin@rgau-msha.ru.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ШИНАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ПЕРЕМЕННОЙ МАССЫ

**Р. С. Федоткин, В. Н. Андреев, В. А. Крючков, В. В. Демичев,
Д. М. Дудин**

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация: В статье рассматривается необходимость внедрения системы автоматического регулирования давления воздуха в шине для сельскохозяйственной техники переменной массы. Представлена зависимость нагрузки на почву в зависимости от массы опрыскивателя, без вмешательства в изменение давления в шине.

Ключевые слова: система подкачки шин, уплотнение почвы, опрыскиватель.

FEATURES OF APPLICATION OF AUTOMATED SYSTEMS OF PRESSURE CONTROL IN TIRES OF AGRICULTURAL MACHINERY OF VARIABLE MASS

**V. N. Andreev, R. S. Fedotkin, V. A. Kryuchkov V. V. Demichev,
D. M. Dudin**

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. The article discusses the need to implement an automatic tire pressure control system for agricultural machinery of variable weight. The dependence of the soil load on the sprayer weight is presented, without interfering with the change in tire pressure.

Keywords: tire inflation system, soil compaction, sprayer.

Введение

Использование колесных сельскохозяйственных (с.х.) машин широко распространено во всех регионах Российской Федерации. Применение тягово-транспортных машин с переменной массой обусловлено спецификой работы АПК и сбором или орошения урожая. Применение самоходных и прицепных опрыскивателей, сбор урожая в грузовой автомобиль при проходе комбайна или транспортировщик рулонов, все эти с.х. машины подразумевают динамически изменяемую массу, что негативно влияет на экосистему почвы в целом. Если при проезде

опрыскивателя, проход осуществляется преимущественно междурядьями и изменение массы заключается в облегчении и приближении машины к порожнему состоянию, то при работе транспортировщика рулонов, как правило не соблюдается четкое движение машины между рядами, и к концу наполнения рулонами общая масса машины увеличивается в несколько раз. Это влияет на почвенный фон и уплотнение не только верхних слоев почвы (до 0,3 м), но и распространяется на напряжение до 0,9 м вглубь [1-3].

При общем проезде по полю всей с.х. техники, получается избыточное увеличение уплотнения общего почвенного фона, что влечет за собой уменьшения урожайности, повышение усилий сопротивления при подготовке почвы и тем самым излишние затраты и не добор урожая с поля [4, 5].

В связи с чем, сельскохозяйственная техника переменной массы сталкивается с необходимостью работы как в условиях высоких нагрузок, так и в условиях минимального взаимодействия с почвой. При этом традиционные методы регулирования давления в шинах вручную не обеспечивают оперативности и точности оптимизации.

Главная часть

Рассмотрим на примере работы опрыскивателя Berthoud Major 25 как происходит динамическое изменение массы и влияние нагрузки на почву.

Опрыскиватель Berthoud Major 25 имеет порожнюю массу в 1965 кг и бак для удобрений объемом 2500 л. Также прицепное устройство и 2 колеса.

Для расчета изменения давления опрыскивателя на почву в зависимости от полной массы примем что у опрыскивателя установлено 2 колеса с шиной 16,9R38. По ГОСТ 7463-2003 «Шины пневматические для тракторов и сельскохозяйственных машин». Установлено, что максимальная допустимая нагрузка в 2725 кг на шину 16,9R38 при внутреннем давлении 140 кПа, удовлетворяет условию полной массы опрыскивателя.

Расчеты давления на почву, при разных массовых характеристиках будут производиться по ГОСТ Р 58656-2019 «Техника сельскохозяйственная мобильная».

Площадь контакта шины колеса с почвой определяется по формуле:

$$F_{\text{п}} = F \cdot K_1 \quad (1)$$

где $F_{\text{к}}$ – контурная площадь пятна контакта протектора шины, м²;

K_1 – коэффициент приведения площади контакта протектора шины колеса на жестком, ровном опорном основании к условиям работы на почвенном основании, зависящий от диаметра шины колеса, для нашей шины принимаем $K_1 = 1,1$.

Значение F_K определяется на жестком опорном основании.

Максимальное нормальное давление колесного движителя на почву ($q_{\max}$) вычисляют по формуле:

$$q_{\max} = q_K \cdot K_2 = \frac{K_2 G_K}{K_1}, \quad (2)$$

где q_K – среднее нормальное давление колесного движителя на почву, кПа;

K_2 – коэффициент продольной неравномерности распределения давления по площади контакта шины, для нашей шины принимаем $K_2 = 1,5$;

G_K – статическая вертикальная нагрузка на опорное основание от одной шины, кН.

Среднее нормальное давление колесного движителя на почву рассчитывается по формуле:

$$q_K = \frac{10^3 F_K}{F_{\text{п}}}, \quad (3)$$

где g – ускорение свободного падения, м²/с;

m_K – масса, создающая статическую нагрузку на почву единичным колесным движителем, кг.

Контурная площадь пятна контакта протектора шины измеряется эмпирически, или косвенно для твердых опорных поверхностей по формуле:

$$F_K = \pi a_K b_K, \quad (4)$$

где a_K – длина пятна контакта, м; b_K – ширина пятна контакта, м. Длина пятна контакта шины рассчитывается по формуле:

$$a_K = C_3 \sqrt{D \cdot f}. \quad (5)$$

Ширина пятна контакта шины рассчитывается по формуле:

$$b_K = 2 \sqrt{r_c \cdot f}, \quad (6)$$

где r_c – радиус кривизны протектора, м;

f – нормальная деформация шины, м;

C_3 – постоянный коэффициент для выбранной шины;

D – наружный диаметр шины, м.

Радиус кривизны протектора рассчитывается по формуле:

$$r = \frac{B + H}{2,5} \quad (7)$$

где B – ширина шины, м; H – высота шины, м.

Нормальная деформация шины может рассчитываться по нескольким основным формулам. Формула Р. Хейдекеля позволяет произвести ориентировочный расчет с высокой степенью точности [6]. Для более точного расчета нормальной деформации шины есть формула расчета В. В. Смильского [7], так же существует формула В. Л. Бидермана с примером данных по экспериментальным исследованиям [8, 9].

Условиям расчета давления колеса опрыскивателя с переменной массой будет удовлетворять формула расчета Р. Хейдекеля:

$$f = \frac{G_K}{2\pi p_{ш} r_0} \quad (8)$$

где $p_{ш}$ – давление воздуха в шине, Па;

r_0 – свободный радиус ненагруженного колеса, м.

При расчете по формуле Р. Хейдекеля нагрузка на колесо G_K рассчитывается в Н.

По ГОСТ Р 58656-2019, графику совмещенной нагрузочной характеристики шин с исходным рабочим режимом, можно определить зависимость внутреннего давления в шине от приложенной массы для шины 16.9R38.

Исходя из имеющейся зависимости рассчитаем нагрузку на почву при изменении массы опрыскивателя с 2500 л жидкости до 500 л жидкости при работе в полевых условиях.

Определим зависимость веса сельскохозяйственной техники, площади контакта шины колеса с почвой и среднее нормальное давление колесного движителя на почву. Полученные данные приведены в таблице 1.

По данным таблицы 1 составлена диаграмма (рисунок 1а), демонстрирующая прямую зависимость уплотняющего воздействия на почву в зависимости от приложенной нагрузки на колесо. Из-за деформации профиля шины при разных нагрузках изменяется и внутренне давление в шине, что влияет на уплотнения почвы.

Как видно из графика, при увеличении давления на колесо, увеличивается уплотняющее воздействие на почву, однако, при регулировании и поддержании давления путем стравливания или нагнетания

воздуха в шину, мы получаем результат, где внутреннее давление в шине условно принято постоянным значением, и величина давления на почву остается в диапазоне от 89 до 94 кПа (рисунок 1б).

Таблица 1 – Расчет нормального давления на почву и площади пятна контакта в зависимости от внутреннего давления в шине и нагрузки на колесо

Вес, приходящий на колесо, m_k , кг	Внутреннее давление в шине, $p_{ш}$, кПа	Нормальное давление на почву, $\bar{p}$, кПа	Площадь контакта шины колеса с почвой, $F_{кп}$, м ²	Нормальный прогиб шины, f , м
Без регулирования давления в шине				
1232,5	50	65,46	0,1846	0,07513
1482,5	60	78,57	0,1850	0,07531
1732,5	80	103,59	0,1640	0,06601
1982,5	100	128,62	0,1511	0,06042
2232,5	130	165,62	0,1322	0,05234
При регулировании давления в шине				
1232,5	70	89,32	0,135	0,05366
1482,5	70	90,48	0,160	0,06455
1732,5	70	91,68	0,185	0,07544
1982,5	70	92,92	0,209	0,08632
2232,5	70	94,19	0,232	0,09721

а

б

Рисунок 1 – Диаграмма зависимости давления в шине, уплотняющего воздействия на почву и площади пятна контакта от давления на колесо:

а – при нерегулируемом давлении в шине;

б – с системой регулирования давления в шине

Вывод

При работе сельскохозяйственных машин переменной массы, таких как опрыскиватели, самосвалы и т.д., существует необходимость регулирования давления воздуха в шинах в зависимости от изменения массы автомобиля для поддержания допустимого давления двигателя

на почву. В статье представлен пример расчета зависимости давления в шине, уплотняющего воздействия на почву и площади пятна контакта от давления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дудин, Д. М. Разработка автоматизированной системы адаптации колесного движителя автомобилей и тракторов к почвенно-климатическим условиям / Д. М. Дудин // Сборник трудов, приуроченных к 76-й Всероссийской студенческой научно-практической конференции, посвященной 155-летию со дня рождения В. П. Горячкина, Москва, 14-17 марта 2023 года. – М. : Общество с ограниченной ответственностью «Мегаполис», 2023. – С. 20-23.
2. Роботизированное транспортное средство с минимальным воздействием на окружающую среду / Р. С. Федоткин, Н. И. Дегтярев, К. С. Дмитриев, А. С. Овчаренко // Экология промышленного производства. – 2021. – № 4(116). – С. 59-63.
3. Оценка воздействий на почву трактора ВТ-150 с различными типами гусеничных движителей / В. Ю. Ревенко, Д. Г. Купрюнин, В. Д. Бейненсон [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 9. – С. 30-33.
4. Определение глубины колеи под сдвоенными задними колесами трактора «БЕЛАРУС-2022.5» на суглинке / А. И. Бобровник, Т. А. Варфоломеева, М. М. Дечко, Н. Н. Зезетко // Агропанорама. – 2021. – № 5 (147). – С. 2-8.
5. Кузьмин, В. А. Искусственная нейронная сеть для обоснования параметров ходовых систем тракторов / В. А. Кузьмин, Р. С. Федоткин, В. А. Крючков // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2017. – № 4. – С. 24-30.
6. Тракторы. Теория / В. В. Гуськов [и др.]; под общ. ред. В. В. Гуськова. – М. : Машиностроение, 1988. – 374 с.
7. Эксплуатация, ремонт, хранение и утилизация шин автотранспортных средств / Е. А. Пучин, В. М. Корнеев, М. Ю. Конкин [и др.]. – М. : ООО «Издательство «Триада», 2005. – 117 с.
8. Скотников, В. А. Основы расчета трактора и автомобиля / В. А. Скотников, А. А. Мащенко, А. С. Солонский; под общ. ред. В. А. Скотникова. – М. : Агропромиздат, 1986. – 383 с.
9. Ксенович, И. П. Ходовая система – почва – урожай / И. П. Ксенович, В. А. Скотников, М. И. Ляско. – М. : Агропромиздат, 1985. – 304 с.
10. Бидерман, В. Л. Автомобильные шины / В. Л. Бидерман, Р. Л. Гуслицер М. : Госхимиздат, 1963. – 384 с.

Об авторах:

Федоткин Роман Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», fedotkin@rgau-msha.ru.

Андреев Владимир Николаевич, кандидат технических наук, доцент, преподаватель Технологического колледжа, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», V.andreev@rgau-msha.ru.

Крючков Виталий Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», v.kryuchkov@rgau-msha.ru.

Демичев Владимир Васильевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», demi4ev.volodymyr@yandex.ru.

Дудин Даниил Максимович, ассистент кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», d.dudin@rgau-msha.ru.

About the authors:

Roman S. Fedotkin, Cand.Sc. (Engineering), associate professor of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, fedotkin@rgau-msha.ru.

Vladimir N. Andreev, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, lecturer of College of Technology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, V.andreev@rgau-msha.ru.

Vitaly A. Kryuchkov, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, v.kryuchkov@rgau-msha.ru.

Vladimir V. Demichev, postgraduate student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, demi4ev.volodymyr@yandex.ru.

Daniil M. Dudin, assistant of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, d.dudin@rgau-msha.ru.

ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОЧВУ КОЛЕСНЫМ ДВИЖИТЕЛЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТРАКТОРОВ

О. Н. Дидманидзе, Р. С. Федоткин, В. А. Крючков, Д. М. Дудин, Н. И. Дегтярев

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В статье проведен анализ влияния техногенного воздействия на почвенную экосистему и урожайность. Определены факторы, влияющие на рост растений и недобор урожая сельскохозяйственных культур. Приведены структурные схемы последовательного влияния переуплотнения почвенного фона и пути снижения общего уплотняющего воздействия машинно-тракторного парка на почвенный фон.

Ключевые слова: уплотнение почвы, пористость почвы, повышение урожайности, снижение техногенного воздействия на почву.

FEATURES OF IMPACT ON SOIL BY WHEELED MOVEMENT OF AGRICULTURAL TRACTORS

O. N. Didmanidze, V. A. Kryuchkov, R. S. Fedotkin, D. M. Dudin, N. I. Degtyarev

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. The article presents an analysis of the impact of technogenic impact on the soil ecosystem and crop yield. The factors influencing plant growth and crop yield shortfalls are determined. Structural diagrams of the sequential impact of soil compaction and ways to reduce the overall compacting impact of MTP on the soil background are presented.

Keywords: soil compaction, soil porosity, increasing crop yields, reducing anthropogenic impact on soil.

Введение

В процессе аграрной деятельности использование сельскохозяйственной техники неизбежно приводит к уплотнению почвы. При каждом проходе по полю масса машины оказывает давление на почву, нарушая баланс почвенной экосистемы. Этот процесс особенно значим на глубине от 10 до 30 см, что является критичным для развития большинства сельскохозяйственных культур [1, 2].

Уплотнение почвы приводит к снижению её пористости, что в свою очередь уменьшает объемную массу и способность почвы удерживать воздух и влагу. Воздух и вода являются жизненно важными для здоровья и роста растений, поскольку корни нуждаются в кислороде и воде для адекватного питания и дыхания. Более того, уплотнённая почва затрудняет проникновение корней на необходимую глубину для добычи питательных веществ, ограничивая тем самым доступ растений к питательным элементам.

После многократного проезда по одним и тем же траекториям поверхностные слои почвы становятся настолько уплотнёнными, что корневая система растений может начать адаптироваться, развиваясь более поверхностно, чтобы компенсировать недостаток воздуха и питательных веществ в уплотненных слоях. Это делает растения особенно уязвимыми для поверхностно распространенных болезней, а также более подверженными стрессу в условиях засухи или жары, так как корневая система не способна достаточно глубоко проникать в почву для доступа к влаге [3].

Такие изменения в структуре и функциях почвы несут серьёзные последствия для урожайности и качества сельскохозяйственной продукции, ставя под угрозу эффективность и устойчивость аграрных систем.

Методы исследования

Методами исследования являются: анализ научных статей и публикаций в научных журналах.

Главная часть

Уплотнение почвы определяется контактным давлением движителей, а изменение плотности почвы напрямую зависит от площади распределения контактного давления. По исследованиям, движение тракторов по почве с влажностью 0,7...0,9 НВ увеличивает плотность почвы в 1,1...1,45 раз на глубине от 0 до 0,3 м. Для тракторов массой 5...8 т и нагрузкой на колесо от 25 до 45 кПа, при проезде по влажной почве, уплотнение распространяется на глубину 0,6...0,9 м, а при проходе от 1 до 3 раз, происходит увеличение удельного сопротивления вспашке 4,34 раза [4-7].

После движения транспортного средства участок земли начинает восстанавливать свою изначальную структуру, однако это происходит не мгновенно, а в течение некоторого времени.

Восстановление почвенного фона после проезда колесной техники является многоступенчатым процессом, требующим применения различных методов и технологий.

Исследования влияния уплотнения колесного движителя на почву показали: при постоянном давлении 100 кПа, и влажности чернозема, выщелоченного 28 % при однократном проходе, плотность почвы увеличивалась за рамки оптимально допустимых для большинства сельскохозяйственных культур.

Проведенные в СССР и организованные на государственном уровне исследования с участием 15 институтов механизации, почвоведения и земледелия были проведены в различных почвенно-климатических зонах с 1981 по 1985 г.

Полученные результаты показали:

1) Уплотнение пахотного относительно рыхлого слоя почв определяется реальным контактным давлением движителей на почву, в то время как изменение плотности почвы в подпахотных слоях зависит как от контактного давления, так и от площади его распределения и отношения длины и ширины опорной поверхности движителей. При этом уплотнение почвогрунтов во всех слоях увеличивается с ростом числа проходов движителей по одному следу [8].

2) По следам всех выпускаемых в СССР тракторов, перемещающихся по почве с влажностью 0,7...0,9 НВ, плотность почвы возрастает в слое 0...0,3 м в 1,1...1,45 раза.

3) По следам тракторов Т-150К и К-701 с нагрузкой на колесо 25 и 45 кН уплотнение при проходах по влажной почве распространяется до глубины 0,6...0,7 и 0,8...0,9 м.

4) С ростом давления движителей на почву с 138 до 407 кПа удельное сопротивление почвы при обработке плугом возрастает от 17 до 90 %, а степень крошения пласта уменьшается в 1,1...1,5 раза.

5) Рост числа проходов трактора ДТ-75М по одному следу от 1 до 3-х раз приводит к увеличению прироста удельного сопротивления вспашке с 17,6 % до 33,5 %, а К-701 соответственно с 43,2 % до 76 %.

6) Снижение давления на почву Т-150К в 2,1 раза (до допустимого уровня) обеспечило уменьшение прироста плотности почвы в слое от 0 до 0,3 м в 2,42 раза, глубины следа в 1,86 раза, сопротивления вспашке в 4,34 раза, а степень крошения пласта была такой же, как на контроле. При этом плотность почвы по следам трактора с допустимым давлением на почву не превышала оптимальной величины.

7) Самовосстановление плотности почвы различных типов (среднесуглинистые и более тяжелого механического состава) происходит во многих случаях через 1,5...2 года и более, а восстановление уплотненной почвы чизелеванием дает тем больший эффект, чем меньше уплотнена почва, так как через определенный период времени переуплотненная почва после чизелевания может восстановить исходную плотность, что свидетельствует об эффекте памяти почвы.

Проведенные исследования недобора урожая на территории Белоруссии, Эстонии, Литвы, Московской, Киевской, Воронежской, Тульской областях и Краснодарском крае при проверке озимой и яровой пшеницы, ячменя, овса, гороха, зерна кукурузы, картофеля, кормовой свеклы, зеленой массы кукурузы и различных кормовых смесей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Недобор урожая различных культур при уплотнении почв МТА

Машина	Давление, кПа, при отсутствии тяговой нагрузки на крюке	Осадка уплотнения, м	Количество проходов техники	Недобор урожая, %
			1	9,0
	150	0,062	2...3	14,1
			4...5	19,8
ДТ-75	150	0,055	2...3	13,3
			4...5	19,2
			1	13,3
Т-150К	180	0,075	2...3	23,3
			4...5	30,3
К-700			1	17,2
К-700А	200	0,085	2...3	28,0
К-701			4...5	35,1

Проанализировав данные таблицы 1, можно сделать вывод, что при увеличении давления на одну единицу техники с 150 кПа до 200 кПа (в 1,33 раза) происходит увеличение недобора урожая из-за переуплотнения почвенного фона с 9 %, до 17,2 % (в 1,9 раза). Также увеличивается и осадка уплотнения в 1,4 раза при общей нагрузке тракторной техники в 200 кПа, в сравнении с тракторной техникой при нагрузке 150 кПа. Также влияние количества проходов техники с большим давлением (200 кПа) на недобор урожая выше в 1,8 раза чем на технике с давлением 150 кПа, при одинаковом количестве проходов.

График недобора урожая при разном давлении на почвенный фон тягово-транспортным средством представлен на рисунке 1.

Рисунок 1 – График недобора урожая при разном давлении на почвенный фон тягово-транспортным средством

В связи с этим, важно определять и устанавливать действительное значение давления колеса на почвенный фон.

В частности, конструктивные решения минимизации уплотняющего воздействия колесным машинно-тракторным парком можно разделить на изменение контурной площади опоры движителя и модернизацией конструкции ходовой системы.

Изменение контурной площади опоры колесного движителя подразумевает под собой снижение уплотняющего воздействия на почву путем изменения типа шин, давления в шинах, либо внедрения интеллектуальной системы подкачки колеса (CTIS) [8].

Выводы

В ходе проведенного анализа техногенного воздействия колесного движителя на почвенный фон, были определены основные физико-механические свойства почвы, рассмотрен процесс уплотнения почвы при выполнении сельскохозяйственных работ. Приведены кинематическая схема взаимодействия колеса с уплотняющейся почвой, а также эпюра нормальных элементарных реакций и касательных

сил в пятне контакта колеса с почвой. Рассмотрены этапы восстановления почвенного фона и исследованы последствия влияния уплотняющего воздействия на почву при выполнении сельскохозяйственных работ тракторами разного тягового класса при заданных уровнях давления воздуха в шине. Приведена зависимость урожайности озимой и яровой пшеницы, ячменя, овса, гороха, зерна кукурузы, картофеля, кормовой свеклы, зеленой массы кукурузы и т.д., при различных значениях давления тракторной техники на почвенный фон и количества проходов машинно-тракторного парка при выполнении сельскохозяйственных работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Джаббаров, Н. И. Анализ способов снижения уплотнения почвы при работе сельскохозяйственных агрегатов / Н. И. Джаббаров, И. И. Жуйков // Вестник Хорогского университета. – 2023. – № 4(28). – С. 348-357.
2. Проблемы и перспективы создания отечественного универсального гусеничного трактора / А. С. Дорохов, Р. С. Федоткин, В. А. Крючков, Е. В. Овчинников // Инновации в сельском хозяйстве. – 2018. – № 1(26). – С. 280-288.
3. Условия, влияющие на водопоглощение и водопроницаемость почвы / О. Байрамдурдыев, Н. Аразбаев, Д. Душимова, А. Шукуров // Академическая публицистика. – 2023. – № 10-2. – С. 125-127.
4. Mathieu Lamandé. Transmission of vertical stress in a real soil profile. Part II: Effect of tyre size, inflation pressure and wheel load / Mathieu Lamandé, Per Schjønning // Soil and Tillage Research. – 2011. – Vol. 114, Issue 2. – Pp 71-77.
5. Щитов, С. В. Техногенное воздействие на почву колесных тракторов / С. В. Щитов, П. В. Тихончук, Н. В. Спириданчук // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 6. – С. 73-74.
6. Оценка воздействий на почву трактора ВТ-150 с различными типами гусеничных движителей / В. Ю. Ревенко, Д. Г. Купрюнин, В. Д. Бейненсон [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 9. – С. 30-33.
7. Стабилизатор тангенциальной устойчивости для тракторов тягового класса 1,4 / О. Н. Дидманидзе, Р. С. Федоткин, В. А. Крючков [и др.] // Чтения академика В. Н. Болтинского : Сборник статей научно-практической конференции, посвященный 90-летию Шарова Николая Михайловича, Москва, 23-24 октября 2024 года. – М. : ООО «Сам Полиграфист», 2024. – С. 13-20.
8. Эксплуатация, ремонт, хранение и утилизация шин автотранспортных средств / Е. А. Пучин, В. М. Корнеев, М. Ю. Конкин [и др.]. – М. : ООО «Издательство «Триада», 2005. – 117 с.
9. Дудин, Д. М. Разработка автоматизированной системы адаптации колесного движителя автомобилей и тракторов к почвенно-климатическим условиям / Д. М. Дудин // Сборник трудов, приуроченных к 76-й Всероссийской студенческой научно-практической конференции, посвященной 155-летию со дня

рождения В. П. Горячкина, Москва, 14-17 марта 2023 года. – М. : Общество с ограниченной ответственностью «Мегаполис», 2023. – С. 20-23.

Об авторах:

Дидманидзе Отари Назирович, академик РАН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», didmanidze@rgau-msha.ru.

Федоткин Роман Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», fedotkin@rgau-msha.ru.

Крючков Виталий Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», v.kryuchkov@rgau-msha.ru.

Дегтярев Никита Иванович, ассистент кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», n.degtyarev@rgau-msha.ru.

Дудин Даниил Максимович, ассистент кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», d.dudin@rgau-msha.ru.

About the authors:

Otary N. Didmanidze, Academician of the Russian Academy of Sciences, D.Sc. (Engineering), professor, Head of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, didmanidze@rgau-msha.ru.

Roman S. Fedotkin, Cand.Sc. (Engineering), associate professor of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, fedotkin@rgau-msha.ru.

Vitaliy A. Kryuchkov, Cand.Sc. (Engineering), associate professor of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, v.kryuchkov@rgau-msha.ru.

Daniil M. Dudin, assistant of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, d.dudin@rgau-msha.ru.

Nikita I. Degtyarev, assistant of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, n.degtyarev@rgau-msha.ru.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СИСТЕМЕ АГРОДРОНОВ

**Р. С. Федоткин, В. А. Крючков, К. В. Пихаленко, Н. И. Дегтярев,
А. Н. Давлетшин**

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматривается развитие технологий искусственного интеллекта (ИИ) в системах агродронов, их особенности и практическое применение в сельском хозяйстве. Основное внимание уделено тому, как ИИ позволяет автоматизировать ключевые процессы, такие как мониторинг состояния полей, контроль эрозии почвы, выявление болезней растений и борьба с вредителями. Описаны алгоритмы, используемые в агродронах, включая компьютерное зрение и машинное обучение, а также их роль в создании точных аналитических отчетов для фермеров. Применение ИИ в агродронах способствует повышению урожайности, снижению затрат на ресурсы и минимизацию экологического воздействия, что делает эти технологии важным инструментом для устойчивого развития сельского хозяйства.

Ключевые слова: ИИ в агродронах, агродрон, мониторинг, сохранение почвы, сельское хозяйство.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AGRICULTURAL DRONE SYSTEMS

**V. A. Kryuchkov, R. S. Fedotkin, K. V. Pikhachenko, N. I. Degtyarev,
A. N. Davletshin**

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. The article examines the development of artificial intelligence (AI) technologies in agricultural drone systems, their specific features, and practical applications in agriculture. The focus is on how AI enables the automation of key processes such as field condition monitoring, soil erosion control, plant disease detection, and pest management. The algorithms used in agricultural drones, including computer vision and machine learning, are described, along with their role in generating accurate analytical reports for farmers. The application of AI in agricultural drones contributes to increased crop yields, reduced resource consumption, and minimized environmental impact, making these technologies a vital tool for the sustainable development of agriculture.

Keywords: AI in agricultural drones, agrodrones, monitoring, soil conservation, agriculture.

Введение

Современное сельское хозяйство сталкивается с рядом вызовов, таких как деградация почвы, изменение климата и необходимость повышения эффективности использования ресурсов. В этих условиях агродроны, оснащенные системами искусственного интеллекта (ИИ), становятся важным инструментом для оптимизации сельскохозяйственных процессов. Они позволяют автоматизировать инвентаризацию сельскохозяйственных угодий, создание электронных карт полей, проведение оценки всхожести, анализ состояния растений и минимизацию использования ресурсов, таких как вода, удобрения и пестициды [1]. В данной статье рассматриваются ключевые аспекты применения ИИ в агродронах, их преимущества, технологии и перспективы развития.

Роль искусственного интеллекта в агродронах

Искусственный интеллект является ключевым компонентом современных агродронов, обеспечивая их способность к автономной работе и анализу данных. Основные задачи, которые решает ИИ в агродронах, включают:

1. *Обработка данных с сенсоров и камер.* Дроны оснащены мультиспектральными и тепловизионными камерами, которые собирают данные о состоянии растений, влажности почвы и других параметрах. ИИ анализирует эти данные, выявляя проблемные зоны, такие как участки с недостатком влаги или признаками заболеваний [2].

2. *Оптимизация маршрутов.* Системы ИИ рассчитывают оптимальные маршруты для дронов, минимизируя затраты энергии и времени на выполнение задач, таких как опрыскивание или внесение удобрений.

3. *Прогнозирование.* Принятие решений осуществляется на основе исторических данных и текущих наблюдений, ИИ может прогнозировать урожайность, предсказывать распространение вредителей и предлагать меры по улучшению состояния полей.

4. *Автономность и адаптивность.* Благодаря алгоритмам машинного обучения дроны могут адаптироваться к изменяющимся условиям, например, изменению погодных условий или появлению новых угроз для растений. Это делается путем подачи в алгоритм специально размеченных изображений [3].

За счет вышеперечисленных факторов следует сделать вывод о новой вехе ведения земледелия. В зависимости от масштаба хозяйства, уровня внедрения технологий и качества данных, общее улучшение

эффективности работы на поле с использованием агродронов может составлять 30...50 % [4]. В некоторых случаях, при высоком уровне автоматизации и интеграции ИИ, этот показатель может быть еще выше.

Применение ИИ в агродронах предоставляет ряд преимуществ для сельского хозяйства:

1. *Повышение точности*: технологии ИИ позволяют точно определять проблемные зоны на полях, что снижает избыточное использование ресурсов и минимизирует воздействие на окружающую среду.

2. *Экономия времени и ресурсов*: автономные дроны с ИИ могут выполнять задачи быстрее и эффективнее, чем традиционные методы, что снижает затраты на рабочую силу и ресурсы.

3. *Улучшение качества урожая*: своевременное выявление проблем и их устранение с помощью ИИ способствует повышению урожайности и качества продукции.

4. *Снижение экологического воздействия*: оптимизация использования удобрений и пестицидов помогает минимизировать их попадание в окружающую среду.

Применение технологий искусственного интеллекта (ИИ) в агродронах на территории России имеет огромный потенциал, учитывая масштаб сельскохозяйственных угодий, разнообразие климатических зон и необходимость повышения эффективности аграрного сектора.

Технологии и алгоритмы ИИ в агродронах

Для реализации функций ИИ в агродронах используются различные технологии и алгоритмы, которые позволяют точно определять конкретные проблемы на поле.

Современные агродроны – это сложные механизмы, которые требуют совместной работы аграриев, инженеров и ИТ-специалистов. Из немногочисленного количества производителей дронов и ИИ особо выделяются XAG, DJI и Пиктерра (на базе T1 Холдинг). Технологии данных компаний включают компьютерное зрение, машинное обучение, обработку больших данных и интеграцию с геоинформационными системами (ГИС). Несмотря на различия в подходах и специализации, их объединяет использование искусственного интеллекта для автоматизации и повышения точности сельскохозяйственных процессов.

Основной технологией является компьютерное зрение (Computer Vision). За счет оснащения камерами высокого разрешения, теплови-

зионных камер и мультиспектральных сенсоров ИИ способен анализировать состояние растений, выявлять болезни, вредителей и недостаток питательных веществ [5]. Данные алгоритмы обрабатывают поступающую информацию с камер в режиме реального времени, выделяя проблемные участки на поле, что позволяет своевременно обратить внимание на проблему и провести определенные агротехнологические действия. Также следует обратить внимание на алгоритм компании DJI для создания ортофотопланов и карт NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), который позволяет оценивать состояние растительности на поле.

Для ориентирования во времени и пространстве агродроны оснащаются системами GPS и RTK (Real-Time Kinematic), что позволяет им точно ориентироваться на местности [6, 7]. Алгоритмы автономной навигации обеспечивают оптимизацию маршрутов для выполнения задач, таких как опрыскивание или внесение удобрений. За счет применения систем планирования маршрутов можно снизить затраты времени и энергии. Также компания XAG активно использует систему (IoT) для подключения дронов к другим устройствам, таким как датчики почвы и метеостанции. Это позволяет собирать дополнительные данные и улучшать точность анализа.

Рассматривая алгоритмы агродронов и ИИ следует отметить тесную связь с облачными платформами, которые специализируются на анализе данных, полученных с дронов и спутников, с использованием искусственного интеллекта Picterra (Custom AI Models), что позволяет пользователям создавать собственные модели машинного обучения для анализа данных. Например, фермеры могут обучить модель распознавать определенные типы растений, болезни или вредителей. Платформа обрабатывает огромные объемы данных, полученные с дронов, включая изображения высокого разрешения и мультиспектральные данные. Алгоритмы ИИ анализируют эти данные для создания точных карт и отчетов. Picterra интегрируется с ГИС, что позволяет визуализировать данные на картах и проводить пространственный анализ. Это особенно полезно для мониторинга больших территорий.

Дроны XAG и DJI, а также платформа Picterra от T1 Холдинг, представляют собой мощные инструменты для точного земледелия. Они используют передовые технологии, такие как компьютерное зрение, машинное обучение и ГИС для автоматизации процессов, повышения урожайности и снижения затрат. Их совместное использование позволяет создавать комплексные решения для аграриев, которые

обеспечивают точный мониторинг полей, прогнозирование урожайности и минимизацию экологического воздействия.

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что данные технологии, способны оптимизировать работу аграриев в различных аспектах работы, таких как: мониторинг состояние полей (улучшение до 40...50 %), снижение затрат на ресурсы (улучшение до 30...40 %), скорость выполнения задач (улучшение до 50...70 %), увеличение урожайности (улучшение до 10...20 %), снижение трудозатрат (улучшение до 30...50 %), прогнозирование и планирование (улучшение до 20...30 %).

Перспективы развития

С развитием технологий ИИ и дронов их применение в сельском хозяйстве будет только расширяться. Среди перспективных направлений можно выделить:

1. *Интеграция с роботизированными системами*: совместная работа дронов и наземных роботов для выполнения комплексных задач, таких как посадка и сбор урожая.

2. *Улучшение алгоритмов ИИ*: разработка более точных и адаптивных моделей машинного обучения для анализа данных и принятия решений.

3. *Развитие автономности*: создание полностью автономных систем, способных работать без участия человека.

4. *Снижение стоимости технологий*: удешевление оборудования и программного обеспечения сделает агродроны доступными для большего числа фермеров.

Помимо этого, следует рассмотреть переход от мультиспектра в гиперспектр, так как мультиспектральный анализ способен определять уже активно действующую фазу болезни, так как мультиспектральная камера работает с ограниченным количеством спектральных диапазонов (от 3 до 10), когда гиперспектральная камера способна определять сотни узких спектральных диапазонов (от 100 до 300), каждый диапазон имеет очень узкую ширину, что позволяет фиксировать гораздо больше деталей. Гиперспектральные камеры фиксируют полный спектр отражения света, что позволит анализировать мельчайшие изменения в состоянии растений.

Заключение

Искусственный интеллект в агродронах открывает новые возможности для повышения эффективности и устойчивости сельского хозяйства. Эти технологии позволяют автоматизировать рутинные

процессы, улучшать качество продукции и снижать воздействие на окружающую среду. В будущем развитие ИИ и дронов будет играть ключевую роль в решении глобальных задач, связанных с продовольственной безопасностью и изменением климата [8].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондаренко, А. А. Применение беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве / А. А. Бондаренко, А. А. Кузнецов // Вестник аграрной науки. – 2020. – № 6(87). – С. 45-50.
2. Михайлов, А. С. Беспилотные летательные аппараты в точном земледелии: современные подходы и технологии / А. С. Михайлов, Е. В. Козлов // Труды Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2020. – № 5(11). – С. 78-84.
3. Агафонов, В. А. Разработка инкубатора / В. А. Агафонов, А. Ю. Чуба // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения : сборник материалов LIII Международной студенческой научно-практической конференции, Тюмень, 29 марта 2019 года. Том Часть 2. – Тюмень : Государственный аграрный университет Северного Зауралья. – 2019. – С. 183-186.
4. Кузьменко, Н. И. Нейронная сеть для классификации сельскохозяйственных культур по многоспектральным данным дистанционного зондирования земли / Н. И. Кузьменко, Р. Г. Асадуллаев // Сборник материалов VIII международной научно-технической конференции «Информационные технологии в науке, образовании и производстве», Белгород, 24-25 сентября 2020 г. – Белгород : ИД «БелГУ» НИУ «БелГУ», 2020. – С. 352-357.
5. Иванова, Е. А. Применение компьютерного зрения в агродронах для мониторинга состояния растений / Е. А. Иванова, П. В. Сидоров // Вестник цифровых технологий в АПК. – 2021. – № 3(2). – С. 12-18.
6. Stafford, J. V. Implementing precision agriculture in the 21st century / J. V. Stafford // Journal of Agricultural Engineering Research. – 2000. – Vol. 76. – Pp. 267-275.
7. Будущее тракторостроения в России / В. И. Трухачев, О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы : Сборник статей 26-ой Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 12-13 мая 2022 года. – М. : Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. – С. 15-21.
8. Robertson, M. The economic benefits of precision agriculture: case studies from Australia grain farms / M. Robertson, P. Carberry, L. Brennan / Controlled Traffic and Precision Agriculture Conference. – 2007. – Pp. 181-187.
9. Григорьев, А. Н. Автоматизация сельскохозяйственных процессов с использованием дронов и искусственного интеллекта / А. Н. Григорьев, М. В. Лебедев // Инновации в сельском хозяйстве. – 2020. – № 7(4). – С. 23-29.

10. Пуляев, Н. Н. Цифровизация сельского хозяйства России: особенности, трудности и перспективы / Н. Н. Пуляев, В. С. Богданов, Д. Г. Асадов // Чтения академика В. Н. Болтинского : Сборник статей, Москва, 25-26 января 2022 года. Часть 1. – М.: Общество с ограниченной ответственностью «Сам Полиграфист», 2022. – С. 66-72.

Об авторах:

Федоткин Роман Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», fedotkin@rgau-msha.ru.

Крючков Виталий Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», v.kryuchkov@rgau-msha.ru.

Пихаленко Кирилл Владиславович, магистрант, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», kirill.pihalenko@yandex.ru.

Дегтярев Никита Иванович, ассистент кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», n.degtyarev@rgau-msha.ru.

Давлетшин Артур Нилович, магистрант, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева».

About the authors:

Roman S. Fedotkin, Cand.Sc. (Engineering), associate professor of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, fedotkin@rgau-msha.ru.

Vitaliy A. Kryuchkov, Cand.Sc. (Engineering), associate professor of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, v.kryuchkov@rgau-msha.ru.

Kirill V. Pikhlenko, master's student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, kirill.pihalenko@yandex.ru.

Nikita I. Degtyarev, assistant of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, n.degtyarev@rgau-msha.ru.

Artur N. Davletshin, master's student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy.

ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ СТАБИЛИЗАТОРОВ ТАНГЕНЦИАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ТГМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТРАКТОРОВ

Р. С. Федоткин¹, В. А. Крючков¹, А. А. Федоткина²,
Н. И. Дегтярев¹, Д. М. Дудин¹

¹ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

²ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В статье приведено описание общего устройства гусеничного модуля, который устанавливается на автотракторную технику. Проведен анализ конструкции и выявлены проблемы применения ТГМ на автотракторной технике с изначально колесным движителем. Приведены существующие методы решений реализации стабилизатора тангенциальной устойчивости автотракторной техники при установке ТГМ.

Ключевые слова: стабилизатор тангенциальной устойчивости, тягово-гусеничный модуль, повышение тягово-сцепных свойств.

OVERVIEW OF THE DESIGNS OF TANGENTIAL STABILITY STABILIZERS FOR TGM AGRICULTURAL TRACTORS

R. S. Fedotkin^a, V. A. Kryuchkov^a, A. A. Fedotkina^b,
N. I. Degtyarev^a, D. M. Dudin^a

^aRussian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

^bFederal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract The article describes the general structure of the track module that is installed on automotive equipment. The design is analyzed and the problems of using the TGM on automotive equipment with an initially wheeled propeller are identified. Existing methods for implementing the stabilizer of tangential stability of automotive equipment when installing the TGM are presented.

Keywords: stabilizer of tangential stability, traction-track module, increasing traction and coupling properties.

Введение

Тягово-сцепные свойства являются важным показателем эффективности работы автотракторной техники в сельском хозяйстве.

Повышение тягово-сцепных свойств происходит путем увеличения площади пятна контакта движителя с опорной поверхностью. Способы повышения тягово-сцепных свойств можно разделить на модернизацию и оптимизацию конструкций ходовой системы тракторов.

Оптимизация ходовой системы подразумевает собой сохранение типа движителя колесной тракторной техники и внедрение дополнительных элементов или деталей. К примеру: изменение давления в шинах путем использования систем подкачки воздуха, использование шин сверхнизкого давления или присоединение дополнительных колесных пар на оси [1].

Модернизацией ходовой системы является установка и использования иного типа движителей, которые позволяют увеличить тягово-сцепные свойства, путем внедрения гусеничного хода.

Внедрения гусеничного хода в колесную автотракторную технику позволяет не только увеличить площадь пятна контакта, с чем не сравнится использование шин сверхнизкого давления и сдвоенных колес, но и значительно увеличить массу техники, позволяя перейти трактору на следующий тяговый класс.

Однако процесс создания гусеничных модулей для автотракторной техники не является стандартизованным, так как каждый трактор внутри одного тягового класса, имеет разные конструктивные особенности рамы, ходовой системы, тем самым не позволяя унифицировать конструкцию гусеничных модулей [2].

Целью статьи является обзор и анализ существующих конструкций тягово-гусеничных модулей автотракторной техники и анализ конструктивных особенностей стабилизаторов тангенциальной устойчивости.

Задачи для осуществления цели:

- анализ существующих конструкций тягово-гусеничных модулей;
- определение способов унификации конструкции тягово-гусеничных модулей;
- создание схемы классификации способов повышения тягово-сцепных свойств техники;
- анализ видов стабилизаторов тангенциальной устойчивости;
- структурирование способов реализации исполнения стабилизаторов тангенциальной устойчивости.

Методы и материалы

Для определения важности стабилизатора тангенциальной устойчивости были проанализированы научно-исследовательские статьи, учебные пособия и монографии Российской Федерации и зарубежные издания.

Также были проанализированы конструкции и разработки ТГМ передовых производителей в области создания резиноармированных гусениц для повышения проходимости тягово-транспортных машин, сервисы по оказанию услуг по установке ТГМ на внедорожную технику и опыт разработки и применение ТГМ, каталоги продукции и технические решения передовых компаний в области разработки внедорожной техники.

Результаты

Существующие способы модернизации ходовой системы для повышения тягово-сцепных свойств тракторов заключаются в полной замене колесного движителя на конструктивно иные детали для движения (гусеничную ленту, катки и т.д.) или использование дополнительного вспомогательного оборудования в виде дополнительной тележки, крепящейся к конструкции колеса.

Существуют варианты сохранения колеса как элемента, передающего вращательный момент на гусеницу и использование гусеничного модуля как посредника в увеличении площади пятна контакта техники с опорной поверхностью (рисунок 1а). Такой способ повышения тягово-сцепных свойств позволяет увеличить проходимость техники, но из-за особенности конструкции колеса ограничивает сферу применения и значительно снижает КПД движителя. Данный способ внедрения гусеничного хода является нецелесообразным в экстремальных условиях сельского хозяйства, и применяется в основном на легковых автомобилях для преодоления заснеженных местностей.

На рисунке 1б показан вариант использования звездочки колеса для передачи крутящего момента напрямую, без использования шины. Такой способ создает меньшие потери КПД при передаче крутящего момента, так как уменьшаются потери при прокручивании колеса, но также, используется в основном для преодоления заснеженных местностей или в спортивных мероприятиях, и не подходит для использования в сельском хозяйстве.

Ни один из вышеописанных вариантов не позволяет перейти на гусеничный ход тяговыми машинами.

а *б*
**Рисунок 1 – Приспособления для использования гусеничного хода
автомобильной техники**

Основная машина в сельском хозяйстве – тяговый трактор и особенность конструкции гусеничного модуля для автотракторной техники заключается в необходимости не только повысить проходимость, но и минимизировать затрачиваемую энергию для преодоления сопротивления сил трения качения и уменьшение общего уплотняющего воздействия на почву при выполнении сельскохозяйственных работ.

Существующие решения использования в одной машине и колесного и гусеничного движителя не нова, одним из представителей такого сочетания является модернизированный трактор New Holland t8.436 (рисунок 2).

Сочетания гусеничного модуля и колесного движителя позволяет повысить тяговые свойства и сохранить маневренность и скоростные характеристики, уменьшая общее уплотняющее воздействие на почву [3].

Рисунок 2 –Трактор New Holland t8.436 с ТГМ

Проблема использования. Однако установка ТГМ на изначально колесный трактор производителями не была предусмотрена. В связи с чем, имеется ряд факторов, ограничивающих габариты и конструкцию модуля, для крепления его на место колесного движителя.

На рисунке 3 представлена схема нагрузок гусеничного модуля в движении. Получаемый крутящий момент соответствует направлению вектора частоты вращения колеса, что создает большой крутящий момент M , который в свою очередь передает усилие в движение гусеницы и катков. В момент начала движения техники, для приведения в движения резиноармированную гусеницу необходим момент большой величины, что влечет за собой инерциальные силы, направленные против часовой стрелки которые приподнимают правую часть ТГМ и вдавливают в почву левую часть, что влечет за собой силы которые могут провернуть весь гусеничный модуль по часовой стрелке [4-6].

Рисунок 3 – Схема действующих сил ТГМ при начале движения автотракторной техники

Для решения данной проблемы существуют стабилизатор тангенциальной устойчивости или ограничитель переворота тягового гусеничного модуля, позволяющий взять на себя часть усилия, которое в момент старта стремиться провернуть гусеничный модуль вокруг оси колеса. Одни из вариантов решения представлены на рисунке 4.

Компания Wheeltracks занимается внедрением ТГМ в автомобили и внедорожники полной массой от 1500 до 3800 кг. На рисунке 4 представлена типовая схема ограничителя, применяемая при установке тягового гусеничного модуля в таких машинах как ВАЗ, УАЗ, Land Rover, Toyota Tundra и другие.

Рисунок 4 – Варианты исполнения стабилизатора тангенциальной устойчивости

Техническое решение в создании ограничителя переворота от компании Wheeltracks, заключается в креплении вала 1 и резиновой втулки 5 в корпус ТГМ, позволяя создать точку опоры оси вращения с валом 1 и демпфирующий узел с резиновой втулкой в корпусе. К автомобилю ограничитель переворачивания крепится путем приваривания серьги позицией 4. Так как сложно унифицировать расстояния для установки ограничителя переворачивания на автомобиль, размеры и местоположение серьги является индивидуальным для каждой модели машины.

Компания Taite Rubber производит резиноармированные тяговые гусеничные модули для машин военного и сельскохозяйственного назначения. Конструктивные решения по реализации стабилизатора тангенциальной устойчивости состоят в создании рычага, закрепленного с одной стороне к раме ТГМ, а с другой к оси кардана, который так же выполняет роль связующего для гидравлической системы подъема-опускания боковых катков. Так же подобные устройства ограничителя переворота использует компания Mattracks.

Рисунок 5 – Варианты исполнения стабилизатора тангенциальной устойчивости компании Taite Rubber

Существуют исполнения ТГМ с ограничителем переворота конструктивно отличающимся внедрением демпфирующего пружинного элемента (рисунок 6).

Рисунок 6 – Варианты исполнения стабилизатора тангенциальной устойчивости компании APACHE™ TRACK SYSTEM

Представленные на рисунке 5 ограничители переворота имеют общую конструктивную особенность, а именно: наличие демпфирующего элемента в виде пружины. APACHE™ TRACK SYSTEM (рисунок 5а) используют конструкцию стабилизатора тангенциальной устойчивости для тяжелых машин и машин сельскохозяйственного назначения. На рисунке 5б представлено исполнение конструкции от компании Camso, внедренные в квадроциклы, снегоходы и другие спортивные машины. Конструктивно представляет из себя механизм, использующийся для ограничения переворота ТГМ при старте или торможении, и упругий элемент в виде пружины, для смягчения и плавности хода.

Также существуют варианты ограничителя переворачивания ТГМ некоммерческого производства (рисунок 7). Приведенный пример исполнения стабилизатора тангенциальной устойчивости использует жесткую связь посредством кронштейна 9 закрепленного на корпусе трактора и балки 8, и упругий демпфирующий элемент пружинного типа 10, прикрепленный с одной стороны к корпусу трактора посредством кронштейна 11, и балке 8 [7].

Рисунок 7 – Варианты исполнения стабилизатора тангенциальной устойчивости некоммерческого производства

Вывод

В рамках разработки и проектирования тягово-транспортной машины (ТТМ), ключевым аспектом является обеспечение безопасности эксплуатации и предотвращения возможности переворота гусеничного модуля путем использования стабилизатора тангенциальной устойчивости. Конструктивные особенности ограничителей переворота пред-

полагают соединение рычага с тягово-гусеничным модулем и корпусом автотракторной техники. Однако, стандартизации конструкции данных модулей препятствует вариативность конструктивных параметров несущих рам и кабин тягово-транспортных машин.

Специфика задачи заключается в широком варианте форм рам и кабин, включая различия между модельными рядами одного производителя, что делает невозможным унификацию конструкции стабилизатора тангенциальной устойчивости без учета индивидуальных особенностей каждой отдельной машины.

Данная проблема вынуждает производителей применять индивидуальный подход как к созданию конструкции ТГМ, так и к разработке ограничителей тангенциальной устойчивости, обеспечивая необходимые требования к безопасности в эксплуатации и эффективность работы ТГМ.

Из приведенных выше тягово-гусеничных модулей можно выделить классификацию по исполнению стабилизатора тангенциальной устойчивости.

Таблица 1 – Сводная таблица вариантов реализации конструкции стабилизатора тангенциальной устойчивости

№	Тип	Описание	Общий вид
1	Жесткое крепление	Неподвижное крепление стабилизатора тангенциальной устойчивости ТГМ к раме машины	
2	Жесткое крепление с демпфирующим элементом	Крепление стабилизатора тангенциальной устойчивости ТГМ к раме машины с использованием демпфирующих элементов в виде резиновых стрижней для смягчения вибраций	

3	Упругая связь (пружинный демпфер)	Крепление стабилизатора тангенциальной устойчивости ТГМ к раме транспортного средства путем использования подвижных элементов пружинного механизма, для обеспечения не только безопасности в эксплуатации, но и значительных демпфирующих свойств при начале движения и остановке

Проведенный анализ технических средств и исполнений стабилизаторов тангенциальной устойчивости позволит структурировать и классифицировать ТГМ для последующей разработки ограничителей переворота.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сравнение тяговых показателей и долговечности гусеничных движителей сельскохозяйственных тракторов / Н. А. Щельцын, В. Д. Бейненсон, Р. С. Федоткин [и др.] // Известия МГТУ МАМИ. – 2017. – № 4(34). – С. 81-88.
2. Проблемы и перспективы создания отечественного универсального гусеничного трактора / А. С. Дорохов, Р. С. Федоткин, В. А. Крючков, Е. В. Овчинников // Инновации в сельском хозяйстве. – 2018. – № 1(26). – С. 280-288.
3. Съёмная гусеничная ходовая система ведущего моста сельскохозяйственного трактора класса 0,9 / О. Н. Дидманидзе, Р. С. Федоткин, В. А. Крючков, Н. И. Дегтярев // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 12. – С. 142-148.
4. Оценка воздействий на почву трактора ВТ-150 с различными типами гусеничных движителей / В. Ю. Ревенко, Д. Г. Купрюнин, В. Д. Бейненсон [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 9. – С. 30-33.
5. Сравнение основных показателей гусеничных движителей с.-х. тракторов / Д. Г. Купрюнин, Н. А. Щельцын, В. Д. Бейненсон [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – № 9. – С. 16-20.
6. Метод выявления потери устойчивости движения тракторов при реализации тягового усилия на прицеп или сцепной агрегат / М. М. Жилейкин, П. В. Сиротин, С. С. Носиков, Н. Н. Пуляев // Тракторы и сельхозмашины. – 2023. – Т. 90, № 1. – С. 39-48. – DOI 10.17816/0321-4443-321266.
7. Общая модель гидродинамической подвески заднего навесного устройства трактора / П. В. Сиротин, Н. Н. Пуляев, М. А. Лесик, Д. А. Федорова // Чтения академика В. Н. Болтинского : Сборник статей, Москва, 17-18 января 2024

года. – М. : Российский государственный аграрный университет, ООО «Сам Полиграфист», 2024. – С. 54-69.

8. Стабилизатор тангенциальной устойчивости для тракторов тягового класса 1,4 / О. Н. Дидманидзе, Р. С. Федоткин, В. А. Крючков [и др.] // Чтения академика В. Н. Болтинского : Сборник статей научно-практической конференции, посвященный 90-летию Шарова Николая Михайловича, Москва, 23-24 октября 2024 года. – М. : ООО «Сам Полиграфист», 2024. – С. 13-20.

9. Абишев, К. К. К вопросу выбора типа и конструкции гусениц тягово-транспортной машины / К. К. Абишев, А. Д. Сулейменов, К. Б. Асылова // Наука и техника Казахстана. – 2023. – № 2. – С. 103-112.

Об авторах:

Федоткин Роман Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», fedotkin@rgau-msha.ru.

Крючков Виталий Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», v.kryuchkov@rgau-msha.ru.

Федоткина Анна Андреевна, ведущий инженер, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», fedotkin@rgau-msha.ru

Дегтярев Никита Иванович, ассистент кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», n.degtyarev@rgau-msha.ru.

Дудин Даниил Максимович, ассистент кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», d.dudin@rgau-msha.ru.

About the authors:

Roman S. Fedotkin, Cand.Sc. (Engineering), associate professor of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, fedotkin@rgau-msha.ru.

Vitaliy A. Kryuchkov, Cand.Sc. (Engineering), associate professor of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, v.kryuchkov@rgau-msha.ru.

Anna A. Fedotkina, Senior Engineer, Federal Scientific Agroengineering Center of VIM, fedotkin@rgau-msha.ru

Nikita I. Degtyarev, assistant of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, n.degtyarev@rgau-msha.ru.

Daniil M. Dudin, assistant of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, d.dudin@rgau-msha.ru.

КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ НА РЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ АПК

А. Р. Честных

ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. *Статья рассматривает важность метрологического обеспечения входного контроля при ремонте современной сельскохозяйственной техники, подчеркивая его ключевую роль в обеспечении качества ремонтных работ в условиях растущей конкуренции и усложнения конструкции машин.*

Ключевые слова: *входной контроль, метрологическое обеспечение, ремонт сельскохозяйственной техники, точность посадок, средства измерений, калибровка, поверка, ГОСТ, ИСО, АПК.*

CLASSIFICATION OF ENTRANCE CONTROL FACILITIES AT AGRICULTURAL REPAIR FACILITIES

A. R. Chestnych

Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation

Abstract. *The article examines the importance of metrological input control during the repair of modern agricultural machinery, emphasizing its key role in ensuring the quality of repair work in the face of increasing competition and complexity of machine design.*

Keywords: *entrance control, metrological support, repair of agricultural machinery, precision planting, measuring instruments, calibration, verification, interstate standard, ISO, agro-industrial complex.*

В результате научно-технического прогресса происходит усложнение конструкций узлов и агрегатов машин, а ремонт такой техники становится достаточно сложной задачей [1, 2], в том числе и с позиции входного контроля деталей и сборочных единиц [3-5]. В последнее время стала выпускаться новая отечественная и зарубежная техника, в которой используются посадки высокой точности, как с зазорами [6, 7], так и с натягами [8, 9]. В свою очередь, повышение точности посадок требует определенных затрат на новые средства измерений, испытаний и контроля [10, 11]. При ремонте новой техники необходимо исследовать возникающие дефекты [12], а также определять потенциальные потери [13].

В условиях возрастающей конкуренции на рынке услуг по техническому обслуживанию и ремонту сельскохозяйственной техники, предприятия технического сервиса и дилерские центры сталкиваются с острой необходимостью оптимизации процессов управления ремонтно-техническими работами. Ключевым фактором для обеспечения высокого качества ремонта и долговечности техники является точный метрологический контроль поступающих деталей и сборочных единиц, особенно в части характера соединений, вида посадок (с зазором, с натягом, переходных) и фактических зазоров. Эффективное решение этой задачи невозможно без внедрения современных методов менеджмента качества, включая создание и сертификацию систем менеджмента качества (СМК) на основе МС ИСО серии 9000. При этом первостепенное значение приобретает метрологическое обеспечение входного контроля, которое подразумевает наличие современного парка поверенных и калиброванных средств измерений, квалифицированного персонала с компетенциями в области контроля посадок и зазоров, а также разработку и внедрение методик точных измерений, оценки и анализа результатов контроля посадочных поверхностей, зазоров, натягов и других параметров, влияющих на точность соединения. Обеспечение метрологической прослеживаемости и достоверности получаемых результатов измерений является неотъемлемой частью качественного ремонта современной сельскохозяйственной техники.

Работа по совершенствованию входного контроля на ремонтном предприятии АПК при внедрении СМК должна строиться в соответствии с требованиями национального стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2015, других стандартов ИСО серии 9000, национального стандарта ГОСТ 24297-87 (Входной контроль продукции. Основные положения), а также в соответствии с нормативными документами по обеспечению единства измерений (ГСИ) [14].

Входной контроль качества материалов и комплектующих, поступающих на ремонтное предприятие (в сервисный центр), рекомендуется проводить в два этапа: предварительная приемка и окончательная приемка, с особым вниманием к метрологическому контролю посадок и зазоров. На этапе предварительной приемки проводится визуальный осмотр на предмет явных дефектов, способных повлиять на точность посадочных размеров и зазоров, а также проверка наличия и подлинности сопроводительной документации, включая сертификаты

и протоколы измерений посадочных размеров. Далее, на этапе окончательной приемки осуществляется углубленный метрологический контроль, основной целью которого является обеспечение соответствия фактических посадок и зазоров требованиям конструкторской и нормативно-технической документации.

При метрологическом контроле посадок и зазоров используются поверенные и калиброванные средства измерений, такие как:

- Калибры: для быстрого контроля предельных размеров посадочных поверхностей и соответствия их требуемым допускам.
- Штангенциркули и микрометры: для точных измерений диаметров валов и отверстий, позволяющих определить фактические размеры с учетом допусков и посадок.
- Нутромеры: для измерения внутренних диаметров отверстий с высокой точностью, особенно при контроле посадок с натягом.
- Индикаторы и специальные приспособления: для контроля радиального и осевого биения, а также параллельности посадочных поверхностей, что критично для обеспечения правильной сборки и работы сопряженных деталей.
- Координатно-измерительные машины (КИМ): для комплексного контроля сложных поверхностей, обеспечивая высокую точность измерений посадочных размеров и зазоров.

В процессе контроля особое внимание уделяется:

- Определению фактических размеров посадочных поверхностей и сравнение их с номинальными значениями и допусками, установленными в НТД, с учетом видов посадок (с зазором, с натягом, переходных).
- Расчету фактических зазоров и натягов и их соответствию допускаемым значениям для конкретных сопряжений.
- Оценке качества поверхности посадочных мест, включая контроль шероховатости, волнистости и наличия дефектов, которые могут повлиять на точность посадки.
- Проверке геометрии посадочных поверхностей на предмет отклонений от цилиндричности, конусности и параллельности, что критично для обеспечения правильной работы сопряженных деталей.

Результаты измерений фиксируются в протоколах метрологического контроля, где указываются фактические размеры, рассчитанные зазоры или натяги, а также результаты сравнения с допускаемыми значениями. Накопление статистических данных о фактических размерах посадок и зазоров используется для анализа тенденций отклонений и

выявления несоответствий, а также для разработки корректирующих действий и, при необходимости, пересмотра требований к метрологическому обеспечению поставщиков. Периодический контроль условий хранения обеспечивает сохранность размеров посадочных поверхностей до момента их использования в ремонтном процессе. Все измерения проводятся в соответствие с аттестованными методиками и с обязательным использованием поверенных и калиброванных средств измерений.

Объекты входного контроля ремонтного предприятия АПК представлены на рисунок 1 [14].

Рисунок 1 – Объекты входного контроля ремонтного предприятия

Входной контроль качества материалов и комплектующих, поступающих на ремонтное предприятие (в сервисный центр), должен проводиться в специально отведенном помещении (участке), оборудованном современными метрологическими средствами контроля, включая высокоточные средства измерения геометрических параметров, шероховатости, посадок и зазоров, а также контроля соосности и других характеристик соединений, а также необходимыми средствами испытаний и оргтехниккой, при этом должно обеспечиваться соблюдение требований безопасности труда. Рабочие места должны быть организованы с учетом специфики метрологического контроля соединений, а персонал, осуществляющий входной контроль, должен быть аттесто-

ван в установленном порядке, с обязательным подтверждением квалификации в области метрологического контроля соединений, посадок и зазоров.

Выбор средств измерений и испытательного оборудования, используемого при входном контроле, должен осуществляться в соответствии с требованиями НТД на контролируемую продукцию и ПР 50.2.002-94, с акцентом на метрологическое обеспечение контроля посадок и зазоров, характеристик сопряжения, а также точности измерения геометрических параметров и шероховатости поверхностей. Предпочтение отдается метрологически поверенным и калиброванным средствам измерений, обеспечивающим необходимую точность и достоверность результатов измерений. Если применяемые метрологические средства и методики контроля отличаются от указанных в НТД, их технические характеристики и методы контроля должны быть предварительно согласованы с поставщиком или представителем заказчика с предоставлением документального подтверждения их метрологической пригодности и точности, а также с учетом характера соединений.

Для проведения специальных испытаний, проверок и анализов, включая высокоточные метрологические измерения и контроль характеристик соединений, продукция может быть передана в специализированные подразделения предприятия (метрологическую лабораторию, участок контроля и испытаний), а также сторонним аккредитованным организациям (субподрядчикам), имеющим необходимое метрологическое оборудование, компетенции и аттестованный персонал для контроля соединений.

К входному контролю допускается продукция, принятая ОТК или представителем заказчика и поступившая с сопроводительной документацией, соответствующей требованиям метрологического обеспечения, с обязательным наличием протоколов измерений посадочных размеров, зазоров, натягов и параметров, характеризующих соединения, а также сертификатов о поверке/калибровке используемых средств измерений, с подтверждением их подлинности. При проведении входного контроля, с акцентом на метрологическом контроле соединений, необходимо:

- тщательно проверить метрологическую состоятельность сопроводительных документов, включая анализ протоколов измерений характеристик посадок и соединений, удостоверяющих качество продукции, и зарегистрировать продукцию в журналах учета результатов входного контроля, с указанием всех метрологических характеристик,

включая тип посадки, зазор или натяг, отклонения формы и положения поверхностей.

- проконтролировать отбор проб и образцов складскими работниками, с целью обеспечения репрезентативности выборок и для проведения метрологического контроля посадок и соединений, проверить комплектность, упаковку, маркировку, внешний вид продукции и заполнить акт отбора проб с подробным описанием применяемых методов контроля, средств измерений и параметров, подлежащих контролю, особенно касательно соединений.

- провести метрологический контроль качества продукции в соответствии с технологическим процессом входного контроля, особое внимание уделяя контролю размеров посадочных поверхностей, фактическим зазорам, натягам и другим характеристикам, влияющим на качество и надежность соединений, а также при необходимости передать отобранные выборки или пробы в соответствующие подразделения для проведения специализированных метрологических испытаний и измерений, включая контроль соосности, перпендикулярности и других параметров, характеризующих соединения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дидманидзе, О. Н. Основы работоспособности и надежность технических систем / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев. – М. : Изд-во «Триада», 2020. – 232 с.
2. Производство и ремонт отечественных машин для агропромышленного комплекса с позиции принципа 5М / М. Н. Ерохин [и др.] // Вестник машиностроения. – 2023. – Т. 102, № 8. – С. 701-704.
3. Основы проектирования операций входного контроля на машиностроительных предприятиях / Г. И. Бондарева, О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба [и др.]. – М. : ООО «ОнтоПринт», 2020. – 89 с.
4. Проектирование и анализ качества контрольных процессов на ремонтных предприятиях / Г. И. Бондарева, О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба [и др.]. – М. : ООО «ОнтоПринт», 2020. – 95 с.
5. Леонов, О. А. Совершенствование методики проведения микрометража и дефектации шеек коленчатых валов / О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2007. – № 3-1(23). – С. 81-85.
6. Расчет допуска посадки с зазором для повышения относительной износостойкости соединений / О. А. Леонов [и др.] // Трение и износ. – 2023. – Т. 44, № 3. – С. 261-269.
7. Леонов, О. А. Определение предельных функциональных зазоров подшипника скольжения в условиях гидродинамической смазки / О. А. Леонов,

Н. Ж. Шкаруба, Ю. Г. Вергазова // Трение и износ. – 2024. – Т. 45, № 4. – С. 327-334.

8. Обоснование посадок соединений со шпонками / О. А. Леонов [и др.] // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2022. – № 6. – С. 65-71.

9. Расчет посадок соединений упругих втулочно-пальцевых муфт с валами / О. А. Леонов [и др.] // Вестник машиностроения. – 2023. – Т. 102, № 2. – С. 96-101.

10. Леонов, О. А. Нормирование погрешности косвенных измерений при приёмо-сдаточных испытаниях двигателей / О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба // Измерительная техника. – 2022. – № 8. – С. 23-27.

11. Методика оценки брака: процесс контроля коренных шеек коленчатых валов в ремонтном производстве / Г. Н. Темасова [и др.] // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25, № 6. – С. 39-45.

12. Инструментальный контроль дефектов коренных опор блока цилиндров / О. А. Леонов [и др.] // Агроинженерия. – 2024. – Т. 26, № 2. – С. 65-70.

13. Оценка и анализ внутренних потерь при производстве продукции на машиностроительных предприятиях / О. А. Леонов [и др.] // Вестник машиностроения. – 2023. – Т. 102, № 5. – С. 421-426.

14. Карпузов, В. В. О входном контроле на предприятиях ТС АПК на основе системного подхода / В. В. Карпузов, Д. К. Митрофанов // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ – 2011. – № 1(46). – С. 67-70.

Об авторе:

Честных Альбина Рамзильевна, старший преподаватель кафедры стандартизации, метрологии и сертификации, ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», a.r.chestnyh@mospolytech.ru.

About the author:

Albina R. Chestnych, Senior Lecturer at the Department of Standardization, Metrology and Certification, Moscow Polytechnic University, a.r.chestnyh@mospolytech.ru.

ОСОБЕННОСТИ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ СМЕСИ В ДВИГАТЕЛЯХ С ИСКРОВЫМ ЗАЖИГАНИЕМ ПРИ ГЛУБОКОМ ДРОССЕЛИРОВАНИИ

В. Л. Чумаков¹, А. В. Бижаев¹, А. В. Капустин²

¹ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого», г. Великий Новгород, Российская Федерация

Аннотация. Представлен теоретический анализ условий воспламенения рабочей смеси двигателя с искровым зажиганием при глубоком дросселировании, характерных для режимов малых нагрузок и холостого хода. На основе классических методов анализа термодинамического цикла показано, что развитие современных двигателей с непосредственным впрыском топлива повышает эффективность рабочего цикла, но может приводить к повышению концентрации остаточных газов, ухудшению условий воспламенения и росту продуктов неполного сгорания в отработавших газах. Отмечается, что улучшение работы двигателя может быть достигнуто при обеспечении расслоения заряда, снижения концентрации остаточных газов при оптимизации камеры сгорания, фаз газораспределения.

Ключевые слова: двигатель с искровым зажиганием, рабочий цикл, холостой ход, воспламенение заряда.

FEATURES OF MIXTURE IGNITION IN SPARK IGNITION ENGINES AT LOW LOADS

V. L. Chumakov^a, A. V. Bizhaev^a, A. V. Kapustin^b

^aRussian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

^bYaroslav – the – Wise Novgorod State University, g. Veliky Novgorod, Russian Federation

Abstract. The article presents a theoretical analysis of the ignition conditions of working mixture in spark-ignition engine with deep throttling, typical for low-load and idle modes. Based on classical methods of thermodynamic cycle analysis, it is shown that development of modern engines with direct fuel injection increases the efficiency of the working cycle, but can lead to an increase in the concentration of exhaust gases, deterioration of ignition conditions and an increase of incomplete combustion products in the exhaust gases. It is noted that the improvement of engine operation can be achieved by ensuring charge stratification, reducing the concentration of exhaust gases while optimizing the combustion chamber and valve timing.

Keywords: spark-ignition engine, working cycle, idle and low load work, charge ignition.

Современные бензиновые двигатели с высокими степенями сжатия и непосредственным впрыском топлива характеризуются более быстрым сгоранием и, соответственно, более высокими, по сравнению с обычными двигателями с искровым зажиганием, индикаторными показателями на частичных нагрузках. Вместе с тем, повышенный рост индикаторного КПД может оказывать негативное влияние на полноту сгорания топлива и выброс продуктов неполного сгорания окиси углерода СО и углеводородов СН при работе на режимах глубокого дросселирования, характерных для малых нагрузок двигателя [1].

В настоящей работе сделана попытка проанализировать расчетным путем влияние степени дросселирования на впуске, состояния рабочего заряда в цилиндре, при увеличении индикаторного КПД и работе на режимах малых нагрузок, особенно, холостого хода.

Известно, что на режиме холостого хода индикаторная работа цикла расходуется на преодоление механических потерь. Повышение эффективности рабочего процесса современного ДВС, и возрастание индикаторного КПД, ведет к увеличению индикаторной работы цикла, и сохранение исходных условий холостого хода может быть обеспечено изменением состава смеси и коэффициента наполнения. Связь между названными параметрами может быть установлена следующим образом.

Известные положения из теории рабочих процессов двигателей [2] показывают прямую связь между ростом удельной индикаторной работой цикла (средним индикаторным давлением) и индикаторным КПД.

$$p_i = \frac{L_{ic}}{V_h} = \frac{M_1 \cdot H_{um}}{V_h} \eta_i = \frac{M_i \cdot H_{um}}{V_0} \eta_i, \quad (1)$$

где p_i – среднее индикаторное давление;

L_{ic} – индикаторная работа цикла;

V_h – рабочий объем цилиндра;

η_i – индикаторный КПД цикла;

M_1 – количество молей свежей смеси;

H_u – теплота сгорания топлива;

H_{um} – теплота сгорания смеси;

α – коэффициент избытка воздуха;

μ_t – молекулярная масса топлива;

L_0 – теоретическое количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг топлива.

С учетом известных связей параметров в уравнении состояния

$$M_1 = \frac{P_0 \cdot V_h}{\alpha_0 + 1} \eta_v \quad (2)$$

Уравнение (1) может быть преобразовано к виду

$$p_i = \frac{\alpha_0 + 1}{\mu_T} \cdot \frac{P_0}{R_0} \quad (3)$$

Если пренебречь изменением внутренних потерь при дросселировании на холостом ходу, и принять неизменным удельную работу цикла $p_i = \text{const}$, то очевидно соотношение:

$$\alpha L + \mu_T \cdot \frac{P_0}{R_0} \approx \text{const} \quad (4)$$

То есть повышение эффективности процессов сгорания на холостом ходу, и соответствующий рост индикаторного КПД вызывает необходимость дросселирования заряда или обеднения смеси. Однако с учетом современных принципов контроля выброса токсичных компонентов и регулирования $\alpha = 1$, повышение эффективности сгорания потребует, прежде всего, дросселирования заряда на впуске. При этом в цилиндре будут меняться давления, температура, концентрации остаточных газов и топлива, что должно отражаться на условиях воспламенения и сгорания. Относительное изменение данных параметров при увеличении индикаторного КПД может быть получено после преобразований уравнения (1) с учетом известных классических соотношений параметров рабочего цикла ДВС, позволяющих рассчитать параметры рабочего тела в характерных точках индикаторной диаграммы $p_a, T_a, p_c, T_c, p_r, T_r, \eta_v$ и γ_r [3].

Удельная работа цикла

$$p_i = \frac{\Phi_z \cdot \eta_i}{\gamma_r} \cdot \frac{p_r}{R_0} \cdot \frac{H_u}{\mu_T} \quad (5)$$

или для постоянного состава смеси, с учетом принятого допущения $p_i = \text{const}$, должно выполняться условие:

$$\gamma_r = \frac{\Phi_z \cdot \eta_i}{\gamma_r} C, \quad (6)$$

где $C = \frac{R(\varepsilon - 1)}{L_0 + 1} \mu_T p_i$.

Это выражение показывает, что при росте индикаторного КПД η_i , а значит и при уменьшении температуры отработавших газов T_r , увеличивается необходимая степень дросселирования и, следовательно, обратный заброс газов из впускной системы (φ_3). Это должно приводить к дополнительному росту коэффициента остаточных газов γ_r , и соответственно, к росту концентрации продуктов неполного сгорания СО и СН.

Для иллюстрации влияния роста индикаторного КПД на параметры рабочего цикла достаточно провести параметрический анализ уравнения (5) с привлечением экспериментальных данных о непосредственных значениях влияющих факторов.

Для упрощения анализа, значения некоторых представленных факторов можно принять постоянными, полученными в ходе испытаний 4-х цилиндрового двигателя рабочим объемом 1 600 см³ на холостом ходу: $n = 1000$ об/мин, $T_o = 293\text{K}$, $T_r = 713\text{K}$, $\Delta T = 60$, $p_o = 0,1$ МПа, $p_r = 0,1$ МПа, $\alpha = 1,0$, $H_u = 44$ МДж/кг, $l_o = 14,9$, $\varepsilon = 9,5$, $p_i = 0,113$ [3]. Расчеты проведены с учетом существенного заброса отработавших газов из выпускной системы. Расчетная зависимость коэффициента заброса $\varphi_3 = f(p_a)$ принята из работы [4]. Величины p_a , T_a , p_c , T_c , η_v и $G_{\text{твес}}$ определены общепринятыми методами [2].

Рисунок 1 – Изменение состояния рабочего заряда в камере сгорания при увеличении индикаторного КПД

Результаты расчетов представлены на рисунке 1. Как видно из представленных данных, увеличение эффективности рабочего цикла, оцениваемой индикаторным КПД, приводит (при $\alpha = 1,0 = \text{const}$) к пропорциональному уменьшению коэффициента наполнения. В результате дросселирования снижается давление в цилиндре, увеличивается обратный заброс отработавших газов в камеру сгорания, что увеличивает рост концентрации остаточных газов γ_r и уменьшению массовой доли топлива в свежем заряде. Указанные изменения должны существенно увеличить энергию, необходимую для воспламенения заряда, в то время как располагаемая энергия искрового разряда может уменьшаться [5].

Комплексная оценка изменения условий воспламенения, с учетом совместного влияния рассмотренных параметров может быть получена расчетом тепловой энергии, необходимой для воспламенения [6].

$$Q_{\text{в}} = \frac{1}{p_a(T + \Delta T)^4} \varepsilon^{5n_1 - 4} \frac{(1 + \gamma_r)^3}{(1 + \gamma_{r_o + \Delta T})^4} e^{9\gamma_r} \alpha [(1 - (15\gamma_r + 1)[\alpha - 0,9 + 0,2\gamma_r]^{1,8})^3]$$

Расчеты, выполненные из представленных выше условий, показывают, что при увеличении индикаторного КПД η_i с 13 до 19 % (и уменьшении коэффициента наполнения η_v с 0,24 до 0,18, что примерно соответствует значениям при работе обычного бензинового двигателя и двигателя с непосредственным впрыском на холостом ходу), необходимая для воспламенения энергия увеличивается в несколько раз (рисунки 2).

Рисунок 2 – Изменение энергии, необходимой для воспламенения при увеличении индикаторного КПД:

(----) с учетом заброса отработавших газов, (- -) без заброса отработавших газов

Как следует из параметрического анализа уравнения (7), это связано, главным образом, с ростом концентрации остаточных газов, так как изменение давления впуска в диапазоне $\Delta p_a = 0,01$ МПа оказывает незначительное влияние на необходимую энергию воспламенения Q_v . Действительный рост Q_v должен быть еще больше, если учесть уменьшение температуры T_r при увеличении η_i .

В отличие от обычного бензинового двигателя с равномерным распределением заряда, где температура, концентрация топлива и остаточных газов в зоне воспламенения в общем случае соответствует средним по заряду значениям, двигатель с непосредственным впрыском и камерой сгорания, обеспечивающей расслоение заряда, принципиально позволяет в определенных пределах управлять не только составом смеси, но и температурой и локальным содержанием остаточных газов в зоне воспламенения. И именно данный путь может быть использован для улучшения условий воспламенения и стабилизации распространения фронта пламени по обедненной смеси в основной части камеры сгорания.

На основании расчетного определения необходимой энергии воспламенения рассмотрим принципиальные возможности обеспечения удовлетворительных условий воспламенения в обычном двигателе и в двигателе с непосредственным впрыском, обеспечивающим расслоение заряда при увеличении индикаторного КПД η_i . Допустим, что располагаемая энергия источника зажигания Q_p неизменна (рисунок 2). Тогда при постоянном составе смеси, например $\alpha = 1$, предельное увеличение η_i будет ограничено условием $Q_v < Q_p$ (участок 1-2). Сохранение устойчивости воспламенения возможно лишь при некотором обогащении смеси (участок 2-3). Однако, как следует из рисунка 3, условия воспламенения улучшаются только до определённого предела. Дальнейшее обогащение смеси может их лишь ухудшить. Из рисунка 3 видно, что степень необходимого обогащения заряда определяется исходной величиной концентрации отработавших газов. Чем выше γ_r , тем уже возможные пределы возможного изменения состава смеси α' и, следовательно, выше требования к цикловой стабильности α' в зоне воспламенения. Следует отметить, что обогащение смеси в этих пределах в обычном двигателе, как правило сопровождаются ростом работы цикла и, согласно уравнению (4), должно быть компенсировано дополнительным дросселированием со всеми вытекающими из этого последствиями. В двигателе с непосредственным впрыском, обеспечи-

вающем расслоение заряда, местное обогащение смеси в зоне свечи зажигания будет улучшать условия воспламенения, не приводя к необходимости дополнительного дросселирования.

Рисунок 3 – Влияние коэффициента избытка воздуха α и коэффициента остаточных газов y_r на энергию, необходимую для воспламенения заряда

Если проследить возможное влияние дальнейшего увеличения η_i , то оно вновь вызывает необходимость дросселирования и приводит к режиму, для которого $Q_v = Q_p$ (точка 4). В обычном двигателе с искровым зажиганием и гомогенным распределением топлива, увеличение η_i выше этого предела было бы обязательно связано с появлением пропусков воспламенения, так как $Q_v > Q_p$. В двигателе с непосредственным впрыском улучшение условий воспламенения возможно не только при обогащении смеси, но, главным образом за счет уменьшения концентрации остаточных газов в зоне свечи зажигания, что, в свою очередь, требует управления/оптимизации расслоением заряда (участок 4-5).

Концентрация остаточных газов в зоне свечи зажигания определяется рядом факторов, в том числе, как общим средним уровнем концентрации остаточных газов по камере сгорания, определяемым к концу процесса выпуска в предыдущем цикле, так и характером движения свежего заряда в зоне свечи в процессах впуска/сжатия. И, наконец, непосредственно воздействием факела топлива на эту зону в процессе впрыска в камеру сгорания. Если первые условия зависят от регулирования двигателя, то последнее – непосредственно формой камеры сгорания, поверхностью поршня и движением струи топлива.

Следует отметить, что перераспределение концентрации остаточных газов по камере сгорания может привести к увеличению концентрации γ_T в отдельных зонах камеры сгорания выше средней, что также может повлиять на условия распространения фронта пламени [7], возможному затуханию сгорания, особенно в пристеночных слоях, и значит к росту образования несгоревших углеводородов.

Дополнительная возможность улучшения условий воспламенения и сгорания на режимах малых нагрузок и холостого хода может быть связана с общим уменьшением концентрации остаточных газов в заряде, например за счет уменьшения обратного заброса отработавших газов в камеру сгорания из выпускной системы во время перекрытия клапанов. Это, в свою очередь, может быть достигнуто при введении в конструкцию двигателя устройств регулирования фаз газораспределения. Определенный результат можно также получить при снижении индикаторного КПД за счет изменения характера сгорания и затягивании тепловыделения, например при регулировании поздних углов опережения зажигания. Рассмотренные мероприятия оказывают сложное воздействие на рабочий процесс, и, конечно, их эффективность целесообразно оценивать в экспериментальных исследованиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кульчицкий, А. Р. Токсичность поршневых ДВС. Образование вредных веществ при горении топлив : учеб. пособие / А. Р. Кульчицкий. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. – 80 с.
2. Богатырев, А. В. Основы теории и расчета автотракторных двигателей / А. В. Богатырев, А. Н. Корабельников, В. Л. Чумаков. – М. : ИКЦ «Колос-С», 2021. – 280 с.
3. Капустин, А. В. Математическая модель рабочего цикла двигателя с искровым зажиганием / А. В. Капустин, С. В. Смирнов, В. Л. Чумаков / Чтения Академика В. Н. Болтинского : сборник статей семинара. – 2021. – С. 86-95.
4. Дмитриевский, Е. А. Некоторые вопросы теории рабочего цикла на режимах глубокого дросселирования / Е. А. Дмитриевский, В. Ф. Каменев, Б. А. Киселев // Двигателестроение. – 1989. – № 5. – С. 8-12.
5. Воинов, А. Н. Сгорание в быстроходных поршневых двигателях / А. Н. Воинов. – М. : Машиностроение, 1977. – 276 с.
6. Морозов, К. А. Особенности рабочих процессов высокооборотных бензиновых двигателей / К. А. Морозов, Б. Я. Черняк, Н. И. Синельников. – М. : Машиностроение, 1991. – 100 с.
7. Гусейнов, Р. Ш. Исследование рабочего процесса и токсичность бензинового двигателя с послойным зарядом / Р. Ш. Гусейнов. – Баку : Труды АЗПИ, 1979, – 23 с.

Об авторах:

Чумаков Валерий Леонидович, кандидат технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», vchumakov@rgau-msha.ru.

Бижаев Антон Владиславович, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», a.bizhaev@rgau-msha.ru.

Капустин Александр Васильевич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого».

About the authors:

Valery L. Chumakov, Cand.Sc. (Engineering), professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, vchumakov@rgau-msha.ru.

Anton V. Bizhaev, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, a.bizhaev@rgau-msha.ru.

Alexander V. Kapustin, Cand.Sc. (Engineering), associate professor, Yaroslav – the – Wise Novgorod State University.

РЕШЕНИЕ ВОПРОСОВ ДЕЗИНФЕКЦИИ В РЕКУПЕРАТИВНОЙ ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИОННОЙ УСТАНОВКЕ

Н. А. Шевкун

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Содержание животных сопровождается образованием патогенной или условно-патогенной микрофлоры, которая негативно влияет на здоровье и продуктивность животных. Одним из источников распространения патогенов в животноводческих помещениях являются микроклиматические установки. В частности оседание пыли и загрязнений на теплообменные поверхности теплоутилизаторов создают благоприятные условия для их развития. Устранить очаги возникновения патогенов можно путем очистки и дезинфекции. С этой целью рассмотрены способы и даны рекомендации по организации дезинфекции в рекуперативной теплоутилизационной установке.

Ключевые слова: вентиляция, теплоутилизационные установки, дезинфекция, озонирование, аэрация.

SOLVING DISINFECTION ISSUES IN A REGENERATIVE HEAT RECOVERY UNIT

N. A. Shevkun

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. Animal husbandry is accompanied by the formation of pathogenic or conditionally pathogenic microflora, which negatively affects the health and productivity of animals. Microclimatic installations are one of the sources of the spread of pathogens in livestock facilities. In particular, the deposition of dust and dirt on the heat exchanger surfaces of heat exchangers creates favorable conditions for their development. Pathogens can be eliminated by cleaning and disinfection. For this purpose, methods are considered and recommendations are given on the organization of disinfection in a regenerative heat recovery unit.

Keywords: ventilation, heat recovery units, disinfection, ozonation, aeration.

Содержание большого поголовья животных в производственных помещениях приводит к накоплению условно патогенной микрофлоры, что в свою очередь способствует росту заболеваемости животных и снижению их продуктивности. Одними из простых и немаловаж-

ных способов профилактики болезней у животных является дезинфекция. Объектами дезинфекции являются животноводческие помещения, предметы ухода, транспортные средства, продукты их жизнедеятельности и др. Исследования по влиянию дезинфекции на скорость роста свиней на откорме показал, что относительная скорость роста в контрольной группе в 2,6 % ниже, чем в группе, которая содержалась в помещении, прошедшем дезинфекцию [1, 2].

Системы микроклимата животноводческих помещений являются источниками накопления и распространения патогенной и условно патогенной микрофлоры. В частности, образования отложений на теплообменных поверхностях рекуперативных теплоутилизационных установок, применяемых в системах вентиляции, создают благоприятные условия для развития и распространения болезнетворной микрофлоры [3-5]. Очистку теплообменных поверхностей можно организовать путем их промывки и дезинфекции с помощью соответствующих систем [6-8]. Отдельного внимания заслуживает обеззараживание воздуха, циркулирующего в животноводческих помещениях, так как он является средством распространения болезнетворной микрофлоры.

Обеззараживание воздуха можно осуществить, применяя физическую и химическую технологии (рисунок 1).

Рисунок 1 – Технологии обеззараживания воздуха

В животноводстве наибольший интерес представляет собой химический метод обеззараживания воздуха, т.к. при механическом способе очистки фильтры будут довольно быстро загрязняться.

Химические методы очистки можно реализовать с помощью озонирования воздуха или применением дезинфицирующих средств, рас-

пыляя аэрозоль дезинфектанта в воздух. Аэрозольный способ дезинфекции позволяет не только обеззаразить воздух, но и при оседании на поверхности аэрозоль обеспечить их дезинфекцию. В качестве рабочих растворов может применяться перекись водорода, анолит, кислоты, щелочи, формальдегиды и т.д. [9].

Сравнивая эти способы дезинфекции воздуха необходимо отметить следующее. Озон обеспечивает высокую степень и скорость уничтожения патогенной и условно патогенной микрофлоры, устраняет запахи, позволяет обрабатывать поверхности из различных материалов, обладает высокой скоростью распада. К недостаткам нужно отнести негативное воздействие на живые организмы высоких концентраций озона, что не допускает нахождения животных или людей в обрабатываемых помещениях, необходимость постоянного контроля концентрации содержания озона для обеспечения условий дезинфекции. Озон можно получать в месте использования, оборудование компактно, легко встраивается в конструкцию технологического оборудования систем микроклимата.

Отдельно следует рассмотреть применение перекиси водорода в качестве дезинфицирующего средства. Перекись водорода обладает антимикробной активностью в отношении бактерий, вирусов и грибов, и экологической безопасностью продуктов распада в результате, которого образуется вода, кислород и углекислый газ. Причем антимикробные свойства сохраняются в присутствии моющих средств, добавляемых с целью придания рабочим растворам моющих свойств, что позволяет одновременно с дезинфекцией осуществлять очистку различных поверхностей от загрязнений. Рабочие растворы перекиси водорода для дезинфекции могут быть использованы многократно в течение срока годности (48 часов), если их внешний вид не изменился [10]. Недостатком перекиси водорода является сильное корродирующее действие на металлы и способность разрушать ткани при концентрациях выше 3 % [10].

Сравнивая озонирование и применение аэрозолей в качестве дезинфицирующих средств, следует отметить, что предпочтение в выборе способа дезинфекции необходимо отдавать в зависимости от ожидаемых результатов и условий проведения обработки. Если необходимо обеспечить дезинфекцию воздуха, то наиболее предпочтительно использование озонаторов, т.к. получаем более компактную конструкцию установки для поддержания параметров микроклимата. Однако при их работе необходимо следить за концентрацией озона для

получения положительного эффекта и не допускать его воздействие на живые организмы. Аэрозольный способ дезинфекции усложняет конструкцию микроклиматической установки, т.к. требует применения распылительных головок, наличие трубопроводной системы подачи раствора, насосного оборудования, предварительно подготовленного рабочего раствора. Однако в зависимости от типа применяемого антисептика дезинфекцию можно осуществлять, не опасаясь негативного воздействия на живые организмы, а одновременно с применением моющих средств возможна внутренняя очистка микроклиматического оборудования, в частности, теплообменников рекуперативных теплоутилизационных установок [6].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Спиридонов, С. Б. Дезинфекция помещений для откорма свиней / С. Б. Спиридонов // Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. – 2015. – Т. 51. – № 2. – С. 75-77.
2. Economic evaluation of innovative engineering solutions in animal husbandry / N. V. Sergeyeva, V. N. Arinichev, N. A. Shevkun, E. A. Ovsianikova, Ya. S. Chistova // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – 677. – 022036. – doi:10.1088/1755-1315/677/2/022036
3. Шевкун, Н. А. К вопросу об организации водоиспарительного охлаждения в рекуперативной теплоутилизационной установке / Н. А. Шевкун // Чтения академика В. Н. Болтинского : сборник статей научно-практической конференции, посвященный 90-летию Шарова Николая Михайловича. – Москва, 2024. – С. 441-446.
4. Об особенностях организации реверсивного оттаивания в рекуператорах теплоты вытяжного воздуха / И. Ю. Игнаткин, Н. А. Шевкун, А. В. Архипцев, Н. Г. Кожевникова, Д. М. Скороходов // Агроинженерия. – 2022. – Т. 24. – № 6. – С. 15-19. – doi: 10.26897/2687-1149-2022-6-15-19.
5. Теплоутилизационная установка: повышение энергоэффективности / Н. А. Шевкун, И. Ю. Игнаткин, Н. Г. Кожевникова, В. А. Шевкун, А. В. Драный // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25, № 6. – С. 4-9. – doi: 10.26897/2687-1149-2023-6-4-9.
6. Патент на полезную модель № 220970 U1 Российская Федерация, МПК A01K 29/00. Теплоутилизационное устройство : № 2023109496 : заявл. 13.04.2023 : опубл. 11.10.2023 / Н. А. Шевкун, И. Ю. Игнаткин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева».

7. Анализ распределения давления в воздушном потоке по длине воздухопровода / Н. Г. Кожевникова, Н. А. Шевкун, А. В. Драный, А. А. Цымбал // Сборник научных трудов Седьмой Международной научно-практической конференции, посвященной 110-летию со дня рождения Академика А. В. Лыкова. – 2020. – С. 282-286.

8. Экспериментальные исследования условий распыла жидкостей посредством воздушного потока / Н. Г. Кожевникова, Н. А. Шевкун, В. А. Шевкун, А. В. Драный // Агроинженерия. – 2021. – № 6(106). – С. 32-37. – doi: 10.26897/2687-1149-2021-6-32-37.

9. Поносов, С. В. Дезинфекция объектов по содержанию животных в зимнее время : методические рекомендации / С. В. Поносов. – Пермь : ФКОУ ВО Пермский институт ФСИН России, 2023. – 47 с.

10. ИНСТРУКЦИЯ № 01/Б-13 по применению дезинфицирующего средства «Перекись водорода 6 %» (ООО «РосбиоАгроФарм», Россия). – Инструкция разработана: ФБУН «ГНЦ ПМБ»: Герасимов В.Н., Голов Е.А., Гайтрафимова А.Р., Герасимова Ю.В., Храмов М.В., Борзилов А.И.; ФБГУ «НИИ вирусологии им. Д.И. Ивановского»: заместитель руководителя ИЛЦ Д.Н. Носик, заведующий лабораторией онтогенеза вирусов Н.Н. Носик, 2013.

Об авторе:

Шевкун Николай Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», energo-shevkun@rgau-msha.ru.

About the author:

Nikolay A. Shevkun, Cand.Sc. (Agricultural), associate professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, energo-shevkun@rgau-msha.ru.

Научное издание

ЧТЕНИЯ
АКАДЕМИКА
В. Н. БОЛТИНСКОГО

Сборник статей

Материалы издаются в авторской редакции

Подписано в печать 01.03.2025. Формат 60×90/16.
Усл.-печ. л. 24,62. Тираж 100 экз.

Заказ № 41693

Отпечатано в типографии «OneBook.ru»
ООО «Сам Полиграфист»
129090 г. Москва, Протопоповский пер., 6
www.onebook.ru