

ТЕХНИКА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СЕЛА

MACHINERY AND EQUIPMENT FOR RURAL AREA

В НОМЕРЕ

Техническая политика в АПК

- Лобачевский Я.П., Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Шогенов Ю.Х. Инновационные достижения агроинженерных научных учреждений в условиях развития цифровых систем в сельском хозяйстве 2
- Кондратьева О.В., Рыжков Д.В., Войтюк В.А., Слинько О.В., Садыкова З.Ф. Перспективы развития производства сельскохозяйственной продукции с улучшенными характеристиками 6

Технико-технологическое оснащение АПК: проблемы и решения

- ЗУК RSM 161 – фактически всепогодная уборочная машина 10
- Балабанов В.И., Макаров А.А., Дулясова М.В. Исследование влияния конфигурации рабочих элементов рыхлителя на показатели рабочего процесса... 12

Технологии, машины и оборудование для АПК

- Вахитов А.Р., Яхин С.М., Алиакберов И.И. Анализ кинематики наклонных шестиугольных дисков культиватора 17
- Чулков А.С., Шайхов М.М. Роботизированное кассетное загрузочное устройство конвейерного типа для селекционной сеялки 20
- Лимаренко Н.В., Шемякин А.В., Успенский И.А., Юхин И.А., Митрохин С.В. Цифровые инструменты повышения эффективности экспериментальных исследований энергоёмкости обеззараживания свиного бесподстилочного навоза механическими колебаниями на частоте ультразвука 23
- Кирсанов В.В., Федоренко В.Ф., Кирсанов С.В. Магнитостатический расчет левитирующей вращающейся доильной платформы Карусель на постоянных магнитах 29
- Рухов А.В., Бакунин Е.С., Рухов А.В., Аль-Амери Саджа Нафеа Мохсин, Образцова Е.Ю. Технология переработки отработанных моторных масел сельскохозяйственной техники в консистентные смазки модифицированным коллоидным графитом 33
- Садыков М.Р., Гималтдинов И.Х., Адигамов Н.Р., Галиев И.Г., Гриценко А.В. Восстановление деталей машин электролитическим натиранием 37

Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение АПК

- Юферов Л.Ю. Исследование системы электрического отопления сельского дома 42

Аграрная экономика

- Авельцов Д.Ю. Внешние вызовы продовольственной безопасности 46

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Входит в ядро РИНЦ и базу данных RSCI

Полные тексты статей размещаются на сайте электронной научной библиотеки eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru>

Журнал включен в международную базу данных AGRIS ФАО ООН, в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Научные специальности и соответствующие им отрасли науки, по которым издание включено в Перечень ВАК:

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки);

4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса (технические науки);

5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономические науки)

Редакция журнала:

141261, Московская обл., г.о. Пушкинский, рп. Правдинский, ул. Лесная, д. 60. Тел. (495) 993-44-04
fgnu@rosinformagrotech.ru; r_technica@mail.ru <https://rosinformagrotech.ru>



Перепечатка материалов, опубликованных в журнале, допускается только с разрешения редакции.

© «Техника и оборудование для села», 2024

Отпечатано в ФГБНУ «Росинформагротех»

Подписано в печать 24.06.24 Заказ 120

УДК 631

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-5-2-8

Инновационные достижения агроинженерных научных учреждений в условиях развития цифровых систем в сельском хозяйстве

Окончание. Начало в № 5-2024

Я.П. Лобачевский,
д-р техн. наук, акад. РАН,
lobachevsky@yandex.ru

Ю.Ф. Лачуга,
д-р техн. наук, акад. РАН,
akadema1907@mail.ru
(ФГБУ РАН);

А.Ю. Измайлов,
д-р техн. наук, акад. РАН, директор,
vim@vim.ru
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

Ю.Х. Шогенов,
д-р техн. наук, акад. РАН,
yh1961s@yandex.ru
(ФГБУ РАН)

Аннотация. Представлены результаты научно-исследовательских работ, выполненных в 2023 г. научными учреждениями агроинженерного профиля Минобрнауки России, находящимися под научно-методическим руководством Отделения сельскохозяйственных наук Российской академии наук (РАН), по фундаментальным и прикладным исследованиям в области энергообеспечения, энергосбережения, возобновляемой и альтернативной энергетики в агропромышленном комплексе; развития энергоресурсосберегающих, экологически безопасных машинных технологий, роботизированной техники и цифровых систем для производства высококачественной и конкурентоспособной продукции растениеводства и животноводства; технологий и автоматизированных средств технического сервиса, восстановления и повышения надежности техники с применением нанотехнологий, поликомпозиционных и наноматериалов.

Ключевые слова: сельскохозяйственная техника, мобильные энергосредства, машинные технологии, цифровой двойник, электрические сети, электроснабжение, агроэкосистема, роботизированная техника, возобновляемая энергетика, технический сервис.

По пункту 4.1.5.3. «Технологии и автоматизированные средства технического сервиса, восстановления и повышения надежности техники, создание и применение нанотехнологий, поликомпозиционных и наноматериалов» Программы исследования в основном выполняли бюджетные учреждения (ФНАЦ ВИМ, ФНЦ ЛК, ВНИИТИН, СФНЦА РАН, АНЦ «Донской» др.), подведомственные Минобрнауки России и Минсельхозу России.

Результаты фундаментальных исследований, проведенных в 2023 г. с использованием наработок предыдущих лет, позволили разработать следующую научно-техническую продукцию:

- метод селективного лазерного спекания на основе априорного анализа эффективных режимов нанесения упрочняющего материала. Позволяет наносить тугоплав-

кие защитные сплавы, содержащие титан и вольфрам, без перегрева детали при сохранении высокой твердости и минимальных напряжений в упрочняющем материале, обеспечивая повышение износостойкости на 18% при экономии твердого сплава до 35% (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

- методика оценки эффективности применения сельскохозяйственной техники с элементами цифровых решений и роботизированных систем в производстве для сравнительной оценки технических решений с учетом приведенных экономических затрат и удельных абсолютных показателей выполнения технологических операций (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

- метод оценки ресурсных показателей агрегатов по коэффициенту пульсации с применением цифровой системы мониторинга ТО техники. Повышает оперативность (до 3-5 раз) оценки технического состояния узлов и агрегатов гидропривода в процессе эксплуатации для снижения рисков отказов II и III групп сложности в период полевых работ, объективной оценки качества ремонта и динамики изменения технического состояния при планировании сервисных работ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

- способ сбора, применения информационно-диагностических средств и программы обработки данных «SCADA» для оценки диагностических показателей агрегатов в стационарных условиях. Повышает качество ТО, точность оценки текущего состояния техники и прогнозирования неисправностей за счет одновременного сбора данных в режиме реального времени со счетчиков-индикаторов и бортовой системы техники. Патент РФ № 2790792 (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

- научные основы адаптации системы мониторинга технического состояния техники применительно к использованию цифровых технологий. Позволяют повысить потребительские и функциональные свойства техники, эффективность ее работы на 20-30%, сократить время простоя до 50%, оптимизировать затраты на регламентное сервисное обслуживание в 1,5-2 раза (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

- метод цифрового мониторинга технического состояния мобильного энергосредства, позволяющий повысить коэффициент его технической готовности на 10-12% и увеличить эксплуатационную надежность на 7-10% (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

- способ удаленного диагностирования технического состояния ДВС энергонасыщенной сельхозтехники с использованием нейронных сетей. Обеспечивает снижение незапланированных простоев техники в период их эксплуатации на 20-25%, затрат на техническое сопровождение техники – на 12-15% (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

- способ и технология упрочнения дисковых борон плазменно-порошковой наплавкой с использованием порошка ПГС-27 для формирования тонкослойных плазменных

покрытий при упрочнении дисковых борон с минимальным тепловложением и получением бездефектной структуры без пор и трещин (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

- способ и технология упрочнения сошников для внесения аммиака в почву с использованием скоростного ТВЧ-борирования и электроискрового легирования. Улучшает физико-механические свойства формируемого покрытия (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

- способ восстановления деталей для животноводческого оборудования, работающих в агрессивной среде, с использованием плазменной наплавки хромистых вторичных электроэрозионных диспергированных материалов (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

- программное средство на языке «Паскаль», позволяющее в исследуемом многофакторном пространстве параметров вычислять значения критериев эффективности парка мобильных энергосредств. Программа для ЭВМ № 2023684384 (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

- технология изготовления эластомерных деталей доильных аппаратов литьем под низким давлением (до 3 бар). Позволяет заменить импортные детали (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

- технология изготовления деталей для ремонта сельскохозяйственной техники и оборудования с применением композиционных материалов (стекловолокно) и связующих (эпоксидная и полиэфирная смолы). (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

- технология приготовления модифицированных битумных композиций с применением гидромониторного смесителя для консервации сельскохозяйственной техники и экспериментальное оборудование с гидромониторным смесителем битумных праймеров. Повышает противокоррозионную защиту почвообрабатывающей и уборочной техники на 20%. Патент РФ № 2792553 (ФГБНУ ВНИИТиН);

- методика инженерного расчета системы энергообеспечения варочного котла с регулированием мощности пропорционально потребляемому тепловому потоку. Сокращает расход газа на 25-30%. Патент РФ № 2802383 (ФГБНУ ВНИИТиН);

- технология получения промывочных масел для двигателей внутреннего сгорания на основе отработанных масел и состав промывочного масла. Позволяют снизить затраты на ремонт и техобслуживание двигателей сельхозтехники на 20-30%, моторные масла – на 15-20, приобретение дорогостоящих промывочных масел – 70-80%. Патент РФ № 2805073 (ФГБНУ ВНИИТиН);

- программное обеспечение для анализа результатов защитной способности антикоррозионных материалов и расчета экономической эффективности технологии их приготовления и нанесения. Патенты РФ № 2023612039, 2023663690 (ФГБНУ ВНИИТиН);

- программное обеспечение для обработки сигналов оптического датчика и расчета параметров пластины гидродинамического акустического излучателя. Повышает качество используемого дизельного топлива до 20%, снижает токсичность выхлопных газов до 40%. Патенты РФ № 2023669713, 2023662667 (ФГБНУ ВНИИТиН);

- двигатель внутреннего сгорания с оппозитно расположенными и встречно движущимися поршнями прямоугольного сечения, образующими общую камеру сгорания. Способствует снижению материалоемкости, увеличивает ресурс работы. Патент РФ № 2796421 С1 (ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева»);

- способ определения теплодинамических показателей блочно-модульной системы охлаждения двигателя тягово-транспортного средства (ТГС) для построения общей характеристики температурно-динамического анализа работы охлаждающей системы ТГС на различных нагрузочных режимах двигателя. Повышает точность определения теплоотдачи составных элементов охлаждающей системы ТГС. Патент РФ № 2780381 (ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева»);

- радиатор системы охлаждения на основе полимерных материалов для автотракторных двигателей. Снижает металлоемкость и увеличивает морозостойкость системы охлаждения. Патент РФ № 2801632 (ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева»);

- технология защиты металлов от атмосферной коррозии с помощью ингибиторов. Повышает коррозионную стойкость изделий из черных металлов в условиях повышенной влажности и температуры, а также при воздействии соляного тумана и морской воды. Патент РФ № 2767942 (ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева»);

- устройство для ускоренного и одновременного восстановления нескольких изношенных втулок скольжения из цветных сплавов. Патенты РФ № 2751387, 2750899 (ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева»);

- способ диагностики состояния поверхностного слоя твердотельной мишени под действием внешних нагрузок. Расширяет возможности диагностики устойчивости покрытия к внешним нагрузкам и определения остаточного ресурса материалов и конструкций. Патент РФ № 2796454 (ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева»);

- технология переработки жировых отходов в продукты технического назначения для металлообработки и композиций. Способствует долговременной консервации металлоконструкций и изделий из черных металлов. Патент РФ № 2787477 (ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева»);

- технология производства стимулятора роста, содержащего микроэлементы В, Си для выращивания клубневых культур. Патент РФ № 2787029 (ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева»);

- технология получения высокоэффективных защитных материалов от атмосферной коррозии с использованием сырья растительного происхождения (ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева»);

- стали с высокой пластичностью и ударной вязкостью для землеройной и сельскохозяйственной техники. Патент РФ № 2798238 (ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева»);

- технология восстановления посадок подшипников качения полимерными нанокompозитами. Повышает качество восстановления и ресурс подшипниковых узлов сельскохозяйственной техники (до 3 раз). Патенты РФ № 2757271, 2751339 (ФГБОУ ВО «Мичуринский ГАУ», ФГБОУ ВО «Липецкий ГТУ»);

- способ нанесения металлопокрытий на поверхности деталей, повышающий прочность контактной приварки присадочных лент из легированных и жаропрочных сталей на основу из конструкционных сталей. Патент РФ № 2788561 (ФГБОУ ВО «Башкирский ГАУ»);

- программа расчета весовой нагрузки на оси колесного трактора и посевного агрегата для определения нагруженности осей техники в статическом и динамическом положениях с учетом конструктивных параметров, навесной системы

и нагрузочных режимов работы МТА в эксплуатационных условиях и при проектировании посевных агрегатов. Патент РФ № 2023617542 (ФГБОУ ВО «Башкирский ГАУ»);

- устройство для тепловой подготовки автомобиля к принятию нагрузки. Патент РФ № 219352 (ФГБОУ ВО «Башкирский ГАУ»);

- программа расчета параметров резиноармированной гусеничной ходовой системы, катков, ведущего и направляющего колес, резиноармированной ленты при проектировании гусеничных движителей для обеспечения надежности в эксплуатационных условиях. Патент РФ № 2023669256 (ФГБОУ ВО «Башкирский ГАУ»);

- способ бесконтактной экспресс-диагностики технического состояния ДВС с дистанционной передачей данных с помощью телекоммуникационных средств связи во время движения автомобиля. Патент РФ № 2809889 (ФГБОУ ВО «Башкирский ГАУ»);

- установка для мойки деталей и узлов машин с использованием комбинации механических и акустических (ультразвуковых) колебаний. Патент РФ № 218007 (ФГБОУ ВО РГАТУ);

- устройство для эффективного удаления загрязнений из выхлопных газов (оксиды азота и серы, частицы сажи). Патент РФ № 215925 (ФГБОУ ВО РГАТУ);

- программа расчета эксплуатационного расхода топлива автотранспортными средствами всех типов с ДВС. Патент РФ № 2023619462 (ФГБОУ ВО РГАТУ).

По направлению механизация, электрификация и автоматизация сельскохозяйственного производства фундаментальные исследования, проведенные в 2023 г. с использованием наработок предыдущих лет, позволили получить научно-техническую продукцию, не уступающую мировым аналогам, к важнейшим из которых относятся следующие:

- система цифрового мониторинга урожая и состояния многолетних насаждений. Обеспечивает проведение дистанционного мониторинга биологических объектов в садоводстве, прогнозирование урожайности с точностью 78-96% на основе оптической визуализации, алгоритмов машинного обучения, моделей свёрточных нейронных сетей (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

- технология утилизации высоковлажных отходов крупных животноводческих и птицеводческих предприятий с использованием низкотемпературной неравновесной плазмы. Обеспечивает утилизацию до 40-60% отходов с получением водоугольного топлива в качестве энергоносителя для отопительных систем предприятия (СибИМЭ СФНЦА РАН);

- инновационный высокопроизводительный вспушватель лент льна с увеличенным сроком службы (до 10 раз), обеспечивающий высокое качество получаемой продукции с видеоконтролем технологического процесса (ФНЦ ЛК);

- технология изготовления форсунок сельскохозяйственных опрыскивателей из полимерных композиционных материалов на основе полиацетата и карбида кремния. Повышает их износостойкость и долговечность до 10%. Патент РФ № 2790688 (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

- экспериментальный образец устройства сезонного резервирования электроснабжения, обеспечивающий резервирование групп потребителей (или электроприёмников), имеющих сезонный характер работы. Патент РФ № 2789992 (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

- инновационная технология гидропонного выращивания ягодных культур в закрытых искусственных агроэкосистемах, ускоряющая селекционный процесс получения новых сортов. Патент РФ № 2794787 (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ);

- технология упрочнения (восстановления) клапанов двигателей ЯМЗ-238 с использованием скоростного ТВЧ-борирования. Формирует карбидные и боридные структуры высокой износостойкости и жаропрочности путем комплексного легирования. Заявка на патент РФ № 2023124901 (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).

К разработкам мирового уровня можно отнести роботизированный гидронеуматический иньектор на автоматизированной платформе для адресного внутрипочвенного полива и локального внесения питательных веществ на основе полимерных гидрогелей в корневую зону многолетних культур (плодовые, ягодные, виноградники, эфиромасличные, декоративные растения) по электронной карте задания с автоматической регулировкой режимов внесения питательных веществ на глубину корнеобитаемого слоя до 60 см. Обеспечивает высокое качество и эффективность внесения жидких минеральных удобрений, экономию препаратов до 20%, на внутрипочвенном поливе – до 15%, сокращение производственных издержек до 25%. Патенты РФ № 2802309, 2794786 (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).

Выводы

1. Основные результаты фундаментальных и прикладных исследований агроинженерных научных центров, научно-исследовательских институтов, образовательных учреждений Минобрнауки России и Минсельхоза России и их анализ свидетельствуют о том, что полученная научно-техническая продукция направлена на выполнение Задания на оказание государственных услуг и соответствует реализации плана НИР на 2023 г.

2. Для повышения уровня научно-методической работы и получения научно-технической продукции, не уступающей мировым аналогам, проводятся комплексные фундаментальные, прикладные, междисциплинарные научные исследования и разработки с участием ведущих ученых смежных отделений Российской академии наук, в том числе по применению цифровых систем и технологий в аграрной отрасли, автоматизированных средств и роботизированной техники сельскохозяйственного назначения, направленные на реализацию плана НИР на 2023 г. Об актуальности новых разработок может свидетельствовать заинтересованность организаций АПК и сельхозпредприятий в полученной научно-технической продукции.

3. На основании представленных результатов следует отметить результативную работу ФГБНУ ФНАЦ ВИМ в подготовке и воспитании современного поколения высококвалифицированных молодых исследователей и специалистов в соответствии с постановлением Правительства России от 30 ноября 2021 г. № 2122 «Об утверждении Положения о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре».

4. В условиях цифровой трансформации АПК повышается потребность в разработке новой образовательной программы и профессионального стандарта «Инженер по организации сельскохозяйственного производства» с целью обеспечения аграрной отрасли современными инженерными кадрами, обладающими специальными профессиональными

ми знаниями в сфере разработки и применения цифровых систем, инфокоммуникационных технологий, роботизированных технических средств в логистике и инфраструктуре производства высококачественной сельскохозяйственной продукции. Цифровые коммуникации способствуют формированию карьеры современных молодых ученых и специалистов в сельском хозяйстве.

Список использованных источников

1. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Шогенов Ю.Х. Научно-технические достижения агроинженерных научных организаций в условиях цифровой трансформации сельского хозяйства // Техника и оборудование для села. 2023. № 3 (309). С. 2-11.
2. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Инновационная система машинно-технологического обеспечения предприятий агропромышленного комплекса. Часть 1. М.: ФНАЦ ВИМ, 2019. 228 с.
3. Федоренко В.Ф., Таркинский В.Е. Цифровые беспроводные технологии для оценки показателей сельскохозяйственной техники // С.-х. машины и технологии. 2020. Е. 14. № 1. С. 10-15.
4. Технологии XXI века в агропромышленном комплексе России. 4-е изд. доп. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. С. 401-484 с.
5. Гудков С.В., Саримов Р.М., Асташев М.Е. и др. Современные физические методы и технологии в сельском хозяйстве // Успехи физических наук. 2024. Т. 194. № 2. С. 208-226.
6. Попов В.Д., Федоренко В.Ф., Брюханов А.Ю. Приоритеты экологического развития животноводства России и пути их реализации // Техника и оборудование для села. 2020. № 12 (282). С. 2-5.
7. Shogenov Y.Kh., Shogenov A.Kh. Drying induction motor windings with zero-sequence current // Russian Electrical Engineering. 2021. Т. 92. № 4. С. 217-220. DOI:10.3103/S1068371221040064.
8. Izmailov A., Khort D., Filippov R., Shogenov Y., Pishchalnikov R.Yu., Simakin A.V. Improvement of winter graft techniques using cold plasma and plasma-treated solution on cherry cultures // Applied Sciences (Switzerland). 2022. Т. 12. № 10. DOI: 10.3390/app12104953.
9. Moskovsky M.N., Shogenov Y.H., Lavrov A.V., Gulyaev A.A., Belyakov M.V., Efremenko I.Y., Pyatchenko D.S. Spectral photoluminescent parameters of barley seeds (*hordium vulgare*) infected with fusarium SSP // Photochemistry and Photobiology. 2023. V. 99: Pp. 29-34. DOI:10.1111/php.13645.

10. Гайфуллин И.Х., Рудаков А.И., Шогенов Ю.Х. Производство электроэнергии на основе переработки навоза в анаэробных условиях // Современное состояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса : матер. Междунар. науч.-практ. конф. Казань: Казанский ГАУ, 2019. С. 71-77.

11. Отчет Отделения сельскохозяйственных наук РАН о выполнении фундаментальных и поисковых научных исследований в 2022 г. М.: ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», 2023. 536 с.

Innovative Achievements of Agricultural Engineering Scientific Institutions in the Context of the Development of Digital Systems in Agriculture

Ya.P. Lobachevsky, Yu.F. Lachuga

(FSBI RAS)

A.Yu. Izmailov

(FGBNU FNATS VIM)

Yu.H. Shogenov

(FSBI RAS)

Summary. The article deals with the results of the fundamental and applied research work carried out in 2023 by scientific agricultural engineering institutions of the Ministry of Education and Science of Russia guided by the Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences (RAS) in the field of energy supply, energy saving, renewable and alternative energy in the agricultural sector; development of energy-resource-saving, environmentally friendly machine technologies, robotic technology and digital systems for the production of high-quality and competitive crop and livestock products; technologies and automated means of technical service, restoration and improvement of the machinery reliability using nano-technologies, polycomposite and nanomaterials.

Keywords: agricultural machinery, mobile energy vehicles, machine technologies, digital twin, electrical networks, power supply, agroecosystem, robotic machinery, renewable energy, technical service.

ДОРОГИЕ АБИТУРИЕНТЫ!
ФГБНУ «Росинформагротех» объявляет
прием на обучение
по образовательным программам –
программ подготовки научных
и научно-педагогических кадров
в АСПИРАНТУРЕ
на 2024-2025 учебный год по специальностям:

- ✓ **4.3.1** Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса;
- ✓ **5.2.3** Региональная и отраслевая экономика (3. Экономика сельского хозяйства и АПК)

Прием документов – с 3 июня по 16 августа 2024 г.

Подробная информация о сроках приема документов, проведения вступительных испытаний и условиях поступления размещена на сайте ФГБНУ «Росинформагротех» <https://rosinformagrotech.ru>

Тел. (495) 594-99-41



Перспективы развития производства сельскохозяйственной продукции с улучшенными характеристиками

О.В. Кондратьева,

канд. экон. наук, зав. отд.,
kov2906@mail.ru

Д.В. Рыжков,

канд. техн. наук, зам. директора,
fntp.mcx@ya.ru

В.А. Войтук,

канд. экон. наук, ст. науч. сотр.,
bower71@mail.ru

О.В. Слинько,

ст. науч. сотр.,
olesia-12@mail.ru
(ФГБНУ «Росинформагротех»),
inform-iko@mail.ru

З.Ф. Садыкова,

канд. экон. наук, доц.,
zfsadykova@fa.ru
(Финансовый университет при Правительстве России)

Аннотация. Рассмотрены основные условия и преимущества, необходимые для развития производства продукции с улучшенными характеристиками в России. Представлены качественные и количественные характеристики некоторых видов сельскохозяйственной продукции. Выявлены перспективные методы и технологии производства «зеленой» продукции. Описаны лучшие практики производства продукции с улучшенными характеристиками.

Ключевые слова: сельское хозяйство, продукция, улучшенные характеристики, производство, регион, сертификация, окружающая среда.

Постановка проблемы

В Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642) отмечено, что переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству и создание безопасных и качественных продук-

тов – приоритетные и перспективные направления научно-технологического развития Российской Федерации на ближайшие 10-15 лет.

Такие продукты, как органические, имеют высокие питательные свойства и не содержат вредных добавок, что положительно сказывается на здоровье людей. Кроме того, они способствуют сохранению биоразнообразия и здоровья почвы. Поэтому переход к устойчивому и экологически чистому производству является необходимым шагом для будущего поколения.

Поддержка фермеров, занимающихся выращиванием органической продукции, а также распространение информации о ее преимуществах могут создать здоровое и экологически безопасное общество [1].

С начала 2020 г. вступил в действие Федеральный закон № 280-ФЗ «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», который вызвал разногласия среди общественности и экспертов. С одной стороны, инициатива представляется как шаг к улучшению качества и безопасности продуктов питания, с другой – возникают вопросы о конечной стоимости такой продукции и возможностях контроля ее производства на всех этапах производства.

В соответствии с поручением Президента Российской Федерации о разработке «зеленого» бренда сельскохозяйственной продукции, более доступной населению по цене и одновременно безопасной, в то же время не загрязняющей окружающую среду, разработан и с 1 марта 2022 г. вступил в силу Федеральный закон «О сельскохозяйственной продукции, сырье и продовольствии с улучшенными

характеристиками». В соответствии с этим законом при производстве сельскохозяйственной продукции применяются только безопасные для здоровья человека агропромышленные технологии (с применением минеральных удобрений и пестицидов с незначительными вредными веществами). Если при производстве органической продукции не разрешается использование пестицидов, химических удобрений, гормонов, стимуляторов роста и антибиотиков и пр., то продукция с улучшенными характеристиками допускает использование определенного количества высококачественных минеральных удобрений, пестицидов, добавок, но с улучшенными экологическими характеристиками (в соответствии с российскими или международными стандартами, ПНСТ-332-2018).

Продукция, произведенная с применением таких технологий, называется улучшенной («зеленой»). Закон преследует сразу несколько важных задач: продвижение «зеленых» технологий в сельском хозяйстве, повышение интереса к развитию отечественного производства и улучшение конкурентоспособности на мировом рынке.

Однако для успешной реализации этой продукции необходимо учитывать интересы всех участников рынка, балансируя между качеством продукции, ее доступностью и ценой.

Аккредитованным органом по сертификации товарного знака этой продукции является Роскачество. В настоящее время в рамках технического комитета по «зеленой» стандартизации разработано шесть национальных стандартов (ГОСТ Р 58662-2019, ГОСТ Р 58661-2019, ГОСТ Р 58660-2019,

ОСТ Р 58658-2019, ГОСТ Р 58659-2019, ГОСТ Р 58663-2019).

Перед выдачей сертификата о «продукте с улучшенной характеристикой» эксперты изучают не только потребительские свойства этой продукции, но и технологические процессы ее производства, а также условия ведения хозяйства. Для оптимизации процесса производства и сбыта «зеленой» сельскохозяйственной продукции учитываются также климатические и природные особенности каждого региона. Засушливый климат юга страны способствует выращиванию засухоустойчивых культур, в то время как в центральных регионах развивается преимущественно производство молочной продукции, при этом следует отметить, что для ряда регионов, находящихся в одной природно-географической зоне, перспективные направления производства сельхозпродукции будут одинаковыми.

Экспертами выделены основные условия, необходимые для производства «зеленой» продукции в регионах России: наличие законодательно-нормативной базы; наличие неиспользуемых (залежных) земель, вовлекаемых в оборот; подходящие природно-климатические условия регионов; логистические возможности для экспорта.

Цель исследования – разработка предложений, содействующих развитию производства улучшенной сельскохозяйственной продукции в России.

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось с использованием информационных ресурсов с сайтов Президента Российской Федерации, Минсельхоза России, Росстата, ведущих научных организаций, занимающихся вопросами перспектив развития производства «зеленой» сельскохозяйственной продукции.

В качестве методов применялись информационно-аналитический анализ, сравнительный и информационно-логический анализ исходной информации.

Результаты исследований и обсуждение

Улучшенная сельскохозяйственная продукция («зеленая») характеризуется показателями качества и количества,

Таблица 1. Качественные и количественные характеристики некоторых видов сельскохозяйственной продукции [9]

Виды продукции	Характеристики	
	качественные	количественные
<i>Растениеводство</i>		
Зерно, семена масличных культур и трав	Сорт, зараженность (%), влажность (%), засоренность (%)	Масса (ц)
Овощи, плоды, ягоды, продукция других культур	Наименование, сорт, качество с учетом допусков ГОСТ, ТУ – стандарт, нестандарт, наличие примесей (%)	Масса (кг), пучки (шт.)
<i>Животноводство</i>		
Молоко	Содержание жира (%), температура (°С)	Масса (в переводе на базисную жирность) (кг)
Скот, птица	Вид, половозрастная группа, возраст, группа упитанности	Живая масса (кг)
Шерсть	Наименование, вид, цвет, класс, подкласс, состояние, выход чистого волокна (%)	Количество кип (шт.), масса при транспортировке (кг)

потребительскими и технологическими свойствами (табл. 1) [2].

Основные показатели потребительских и технологических свойств «зеленой» сельскохозяйственной продукции:

- для зерновых – влажность, сорная примесь, крупность зерна, содержание белка, качество клейковины и др.;
- картофеля – крахмалистость, количество клубней, поврежденных вредителями, болезнями, подмороженных и др.;
- сахарной свеклы – сахаристость, загрязненность;
- овощей – размер, внешний вид, количество испорченных, плотность и др.;
- льна – номер тресты;
- молока – содержание жира, белка, кислотность и др.;
- мяса:
 - КРС – живая масса, упитанность;
 - свиней – живая масса, толщина шпика;
 - птицы – упитанность, степень снятия оперения [3].

Для получения сельскохозяйственной продукции с улучшенными характеристиками необходимо применять следующие методы и технологии [4]:

- генетическая селекция: для выбора и разведения растений и животных с желательными генетическими свойствами. Научные исследования и селекционные программы позволяют разрабатывать сорта и породы с по-

вышенной продуктивностью, устойчивостью к болезням и вредителям, улучшенными вкусовыми качествами и длительностью хранения, а также другими полезными свойствами;

- технические инновации: применение новых сельскохозяйственных машин, оборудования и технологий может значительно повысить производительность и качество сельскохозяйственной продукции. Например, использование специализированных машин для обработки почвы, полива, удобрения, защиты растений и сбора урожая может помочь увеличить урожайность и снизить потери;

- использование минеральных удобрений и средств защиты растений: правильное применение удобрений и пестицидов может повысить плодородие почвы, предотвратить потери урожая из-за вредителей и болезней, улучшить качество и внешний вид продукции. Однако важно учитывать экологические и социальные аспекты их применения, а также минимизировать отрицательное воздействие на окружающую среду и здоровье человека;

- внедрение новых методов и биотехнологий. Например, генетическая модификация позволяет создавать растения, устойчивые к засухе или вредителям, с повышенным содержанием питательных веществ и другими

полезными свойствами (однако применение биотехнологий вызывает дебаты и требует тщательного наблюдения и регулирования);

- правильное хранение и обработка продукции: соблюдение требований в части методов хранения и обработки позволяет продлить срок годности продукции, сохранив ее качество, и предотвратить потери;

- повышение квалификации специалистов и освоение ими необходимых навыков для применения современных методов и технологий. Обмен производственным опытом;

- применение систем управления качеством и сертификация помогают обеспечить соответствие стандартам безопасности пищевых продуктов и требованиям рынка.

Все эти методы и технологии должны использоваться с учетом экологических, социальных и экономических аспектов устойчивого сельского хозяйства и безопасности пищевых продуктов.

При производстве сельскохозяйственной продукции, в том числе с улучшенными характеристиками, в регионах нашей страны большое значение имеет устойчивое развитие АПК, которое включает в себя три ключевых показателя: управленческий, социальный, экологический. В табл. 2 представлены 10 лучших регионов страны (по суммарным показателям ESG-рейтинга АПК регионов России, данные Россельхозбанка) [5].

По экологическим показателям ESG-рейтинга развития АПК по регионам России наивысшие показатели имеют

Калининградская область, Пермский край и Санкт-Петербург.

При определении перспективных направлений развития производства улучшенной сельскохозяйственной продукции в регионах России также необходимо учитывать мнения экспертного сообщества.

В 2023 г. рынок ожидал увеличения объемов производства сельскохозяйственной продукции, укрепления позиций местных производителей, развития устойчивых методов ведения хозяйства, роста издержек на удобрения и запчастей в растениеводстве, экономии сельхозпроизводителей при покупке новой техники, улучшения качества продукции, расширения экспортных возможностей, а также улучшения условий жизни и труда жителей сельской местности. [6].

Информация о компаниях, занимающихся сельским хозяйством и выпускающих продукцию повышенного качества, регистрируется в специальном государственном реестре (ЕГРПСР). Этот реестр включает в себя данные о производителях сельскохозяйственной продукции, продуктов питания, промышленной и другой продукции с улучшенными характеристиками [7].

В настоящее время в реестре зафиксированы 13 производителей удобрений: 3 химических кластера по производству фосфорных удобрений Группы «Фосагро», АО «ОХК «Уралхим» и 3 филиала «Уралхим» и ПАО «КуйбышевАзот», ПАО «Уралкалий». Первые два «зеленых» сертификата в 2024 г. получили производители овощей

АО «Тандер» (Краснодарский край, розничная сеть «Магнит») на томаты и огурцы защищенного грунта и салат-латук свежий и компания ООО «Агро-Инвест» (Калужская область) – на томаты и огурцы защищенного грунта и салат листовой горшечный [8].

Группа «ФосАгро» (<https://www.phosagro.ru/>) осуществляет полный цикл производства удобрений, уделяет значительное внимание экологической безопасности своей деятельности и постоянно совершенствует производственные процессы с целью минимизации воздействия на окружающую среду. ФосАгро первой в России прошла оценку соответствия требованиям национального стандарта ГОСТ Р 58658-2019 и получила сертификат «Производство сельскохозяйственной продукции с улучшенными характеристиками». Благодаря оптимизации технологических процессов ФосАгро к 2025 г. планирует дальнейшее увеличение производства фосфорных удобрений, увеличив поставки на российский рынок – около 3 млн т [9], а также запуск линейки биоминеральных удобрений с улучшенными характеристиками.

АО «ОХК «Уралхим» (<https://www.uralchem.ru/>) – один из крупнейших производителей азотных и фосфорных удобрений, кормовых добавок, а также премиальных бесхлорных удобрений с микроэлементами в Российской Федерации и СНГ. Компанией получен сертификат на линейку 80 наименований минеральных удобрений и другой химической продукции: от зерновых и овощных до плодовых и ягодных; от гранулированных удобрений для открытого грунта до водорастворимых удобрений.

ОА «Щелково Агрохим» (<https://betaren.ru/>) – лидер по производству агрохимического и семенного материала. Более 50 тыс. т продукции выпускается на производственных площадях компании, которые занимают 40 тыс. м². Оборот компании составляет 40,5 млрд руб. Предприятие специализируется на производстве и продаже более 160 различных биопрепаратов и агрохимикатов, предназначенных для защиты растений. Весь ассортимент соответствует стандартам качества ISO 9001:2015. Компания осваивает и предлагает своим партнерам инноваци-

Таблица 2. Показатели ESG-рейтинга развития АПК по регионам России

Лидеры (регионы)	Развитие в АПК, баллы			Суммарное
	государственное управление	социальное	экологическое	
Санкт-Петербург	2,67	1,88	5,27	9,82
Москва	2,5	2,32	4,79	9,61
Республика Адыгея	2,07	2,22	5,12	9,41
Калининградская область	1,51	1,87	5,51	8,89
Тульская область	1,89	1,79	5,19	8,87
Пермский край	1,84	1,53	5,34	8,71
Карачаево-Черкесская Республика	2,02	1,88	4,64	8,54
Республика Татарстан	1,85	1,71	4,94	8,5
Ярославская область	1,73	1,86	4,86	8,45
Самарская область	1,91	1,76	4,76	8,43

онные агротехнологии – Систему управления вегетацией (CVS) и ЭКОплюс – эффективные примеры биологизированной системы земледелия. Щёлково Агрохим активно развивает семеноводческое направление, так необходимое нашей стране: первичное, оригинальное и элитное семеноводство зерновых и зернобобовых культур; элитное семеноводство озимой и яровой пшеницы, сои, гречихи, гороха и др.; создание конкурентоспособных, высокопластичных гибридов сахарной свеклы и пр. Исследователями разработаны и внедрены уникальные сложные химические рецептуры и препаративные формы: микроэмульсии, концентраты коллоидных растворов, масляные концентраты эмульсий, масляные дисперсии. Имеет более 100 патентов на изобретения, в том числе международных.

В научном центре «Агротехнологии будущего» сотрудниками Всероссийского института сельскохозяйственной микробиологии и Санкт-Петербургского государственного университета разработаны минеральные удобрения нового поколения. Демонстрационные полевые опыты с применением комплексных биологически активных минеральных удобрений нового поколения дали положительные результаты, повысив урожайность: у салата – на 30%, картофеля – на 20, яровой пшеницы и кукурузы – на 15%. Для практической реализации результатов исследований совместно с предприятием «Воскресенские минеральные удобрения» спроектирован цех площадью 700 м² для производства 30 тыс. т в год удобрений нового поколения (включают в себя как традиционные минеральные компоненты, так и комплексы специально подобранных микроорганизмов) [10].

Таким образом, внедрение концепции «зеленого эталона» требует значительных усилий и инвестиций в различные аспекты сельского хозяйства, включая повышение энергоэффективности производства, улучшение системы мониторинга и контроля экологических параметров производства, что в долгосрочной перспективе позволит не только снизить негативное воздействие сельского хозяйства на окружающую среду, но и повысить

конкурентоспособность российской сельскохозяйственной продукции на мировом рынке.

Выводы

1. Для развития производства сельскохозяйственной продукции с улучшенными характеристиками, обеспечения населения экологически чистыми продуктами питания и сохранения окружающей среды в регионах целесообразно вводить в оборот неиспользуемые земли сельскохозяйственного назначения, применяя сертифицированные минеральные удобрения, органические средства защиты растений и строго контролируя применение пестицидов и агрохимикатов.

2. Важно поддерживать и стимулировать инновационные исследования в области сельского хозяйства, что позволит создавать новые высококачественные продукты и технологии производства.

3. При разработке стратегии развития производства улучшенной сельскохозяйственной продукции следует также учитывать потребности и предпочтения потребителей. Кроме того, необходимо развивать инфраструктуру и логистику в регионах, чтобы обеспечить эффективную транспортировку и хранение улучшенной сельскохозяйственной продукции.

4. Целесообразно применять обучающие программы для сельскохозяйственных производителей по использованию новых технологий и методов, способствующих улучшению качества продукции.

Список использованных источников

1. Переход агропромышленных предприятий на экологические принципы / О.В. Кондратьева, А.Д. Федоров, О.В. Слинько, В.А. Войтюк // Эколого-биологическое благополучие растительного и животного мира : тез. докладов Междунар. науч.-практ. конф. (г. Благовещенск, 23.09.2020). Благовещенск: Дальневосточный ГАУ, 2020. С. 68-69.
2. Перспективные направления развития производства сельскохозяйственной продукции с улучшенными характеристиками в регионах России : аналит. обзор / Н.П. Мишуров, А.Д. Федоров, О.В. Кондратьева [и др.]. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. 84 с.
3. Показатели качества сельскохозяйственной продукции [Электронный ресурс]. URL: <https://lektsii.org/17-78488.html> (дата обращения: 22.03.2024).

4. Производство сельскохозяйственной продукции с улучшенными характеристиками : аналит. обзор / Н.П. Мишуров, А.Д. Федоров, О.В. Кондратьева [и др.]. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 76 с.

5. ESG-рейтинг АПК в регионах России [Электронный ресурс]. URL: <https://ecfs.msu.ru/news/esg-rejting-apk-v-regionax-rossii> (дата обращения: 26.03.2024).

6. Тренды-2023. Эксперты рассказали, что ждет сельское хозяйство России в новом году [Электронный ресурс]. URL: <https://xn--e1alid.xn--p1ai/journal/publication/1524?ysclid=lgughka563283381760> (дата обращения: 17.04.2023).

7. Единый государственный реестр производителей сельскохозяйственной продукции, продовольствия, промышленной и иной продукции с улучшенными характеристиками [Электронный ресурс]. URL: <http://opendata.mcx.ru/opendata/7708075454-bestprod> (дата обращения: 10.01.2024).

8. В России появились первые «зеленые» овощи [Электронный ресурс]. URL: <https://roskachestvo.gov.ru/news/v-rossii-poyavilis-pervye-zelenye-ovoshchi/> (дата обращения: 28.03.2024).

9. Трифонова П. «Фосагро» планирует на треть увеличить производство удобрений к 2025 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2019/03/20/796896-fosagro> (дата обращения: 10.02.2022).

10. Российские био-модифицированные удобрения повысят урожайность до 30% [Электронный ресурс]. URL: <https://rosagroeko.ru/2023/08/15/bio-modified-fertilizers/?ysclid=lmexby9lqp380732493> (дата обращения: 11.03.2024).

Prospects for the Development of the Production of Agricultural Products with Improved Characteristics

O.V. Kondratyeva, D.V. Ryzhkov, V.A. Voytyuk, O.V. Slinko (FGBNU "Rosinformagrotech")

Z.F. Sadykova (Financial University under the Government of Russia)

Summary. The article deals with the basic conditions and advantages necessary to increase the production of products with improved characteristics in Russia. The qualitative and quantitative characteristics of some types of agricultural products are presented. Promising methods and technologies for the production of the "green" products are shown. The best practices for producing products with improved characteristics are described.

Key words: agriculture, products, improved characteristics, production, region, certification, environment.

ЗУК RSM 161 – фактически всепогодная уборочная машина



В прошлом полевом сезоне мы снова убедились в том, что убирать зерно при оптимальной влажности, чтобы не тратиться на его сушку, желаемое, но не всегда выполнимое условие. Именно об этом говорили представители Ростсельмаш восемь лет назад, когда зерноуборочный комбайн RSM 161 не вышел с конвейера даже в опытной партии. Когда же первые машины отправились в нашумевшее турне, правдивость обещания производителя по уникальной способности комбайнов работать с культурой, очень «далекой» от оптимальных показателей влажности зерна, была доказана на практике.

Тогда, к некоторому удивлению производителя, машину сразу начали заказывать хозяйства областей, которые изначально «не числились» среди целевой аудитории. Дело в том, что зерноуборочный комбайн RSM 161 – высокопроизводительный, и его создавали в расчете на большие поля и высокоурожайные фоны. Однако именно эта «всеядность» в плане способности работать на влажном и/или засоренном стеблестое, чисто вымолачивать «трудное» зерно и пришлось по вкусу сельхозпроизводителям практически всех зерносеющих регионов. И одними из первых в год полевой премьеры покупали производители тритикале.

Комбайн RSM 161 действительно очень эффективен на уборке труднообмолачиваемых культур, включая мелкозерновые. Это не только тритикале, но и, к примеру, лён-кудряш, рыжик, сорго, сафлор и т.д. Да и некоторые сорта пшеницы тоже можно отнести к этой категории. Впрочем, и это очень показательно, машину приобретают хозяйства, за-

севающие большие площади легкоотрачиваемыми культурами типа сои или рапса. Как утверждают эксперты и опытные практики, при правильных настройках можно и «двухбарабанниками» убирать любое зерно с минимальными потерями. Это подтверждают и испытания МИС. Так, при обмолоте сои и рапса доля поврежденного зерна составила 1,1 % и 1,7 % соответственно, а количество сорной примеси в бункере – 1,0 % и 0,99 %.

СПРАВКА. RSM 161 – зерноуборочный комбайн шестого класса, предназначенный для эксплуатации во всех зерносеющих регионах на полях с уклоном не более 8°. Применяется для уборки всех традиционных культур. Рекомендуются производителем для работы в сложных условиях страды – высокая соломистость и влажность, засоренность, труднообмолачиваемые культуры в севообороте. Сезонная производительность – до 2 000 га.

✓ **Моторная установка и топливная система.** Экономичный современный двигатель мощностью 400 л.с., топливный бак вместимостью 1050 л, высокоточный датчик расхода топлива.

✓ **Наклонная камера.** Усиленная, цепочно-планчатая, с электрогидравлической системой поперечного и продольного копирования рельефа поля. Грузоподъемность позволяет агрегатировать машину с жатками шириной захвата до 12 м и адаптерами для уборки пропашных до 12 рядков.

✓ **МСУ.** Двухбарабанное, построенное по схеме «молотильный барабан + промежуточный битей + барабан-сепаратор + отбойный битей».

✓ **Конечная сепарация.** Шестиклавишный соломотряс площадью 6,1 м².

✓ **Очистка зерна.** Двухкаскадная система OptiFlow площадью 7,1 м² с запатентованной схемой подвески решет, укомплектованная двухпоточным турбинным 6-секционным вентилятором. Опционально доступны системы РСМ 3D-очистка и РСМ 4D-очистка, которая автоматически корректирует настройки агрегата при работе на рельефе с уклоном.

✓ **Домолот.** Автономный роторного типа, в базовую комплектацию также входит система оценки возврата на домолот.

✓ **Зерновой бункер.** Вместимость – 10 500 л, с виброподъемниками, датчиками уровня заполнения, пробоотборником, высокоскоростным (110 л/с) выгрузным устройством.

✓ **Обращение с незерновой частью.** Двухскоростной ИРС, половоразбрасыватель, валкоукладчик, функция регулировки ширины разбрасывания соломы.

Несколько слов о производительности RSM 161

ЗУК RSM 161 способен на высокоурожайных фонах обмолачивать свыше 36 т зерна в час. И даже на ненормировном хлебостое машина показывает очень хорошие результаты, что подтверждает правильность выбора в пользу этой машины для эксплуатации в большинстве зерносеющих регионов.

Так, на подборе из валков пшеницы урожайностью 30 ц/га и соотношением массы зерна к массе соломы 1:0,75 в регионе ответственности Алтайской МИС зафиксирована номинальная производительность комбайна в 34,8 т/ч. По данным Кубанской МИС, на прямом комбайнировании при уборке сухой пшеницы (влажность зерна 7,8-8 %, соломы – 6,6-7,3 %) урожайностью 47,7 ц/га и низкой массой зерна (33 г на 1000 зерен) производительность машины, агрегатированной 9-метровой жаткой, составила 20,13 т/ч, а на уборке кукурузы 12-рядковой жаткой комбайн намолачивал 36,24 т/ч.

При эксплуатации в хозяйствах лучший официально зарегистрированный результат получен на уборке пшеницы урожайностью 50,86 ц/га в Калининградской области. RSM 161 с 9-метровой жаткой за час работы намолачивал 36,75 т. И еще один комментарий от специалистов одной из алтайских компаний, применявших RSM 161 на уборке сои: 40-44 га в день, что сравнимо с производительностью самоходной косилки, работающей на свал.

Как это у него получается

Один из самых высоких в классе показателей производительности – это заслуга, в первую очередь, оригинального МСУ Tetra Processor. RSM 161 – первый комбайн, в молотилке которого используются сразу два самых больших в отрасли барабана: молотильный Ø 800 мм (частота вращения 300-920 мин⁻¹) и сепарирующий Ø 750 мм. Причем расстояние между ними больше, чем в «стандартных» компактных узлах такого типа. К тому же подбарабаны единые, но при этом регулируются не только на входе и выходе в молотилку,

но и между барабанами. Как итог, МСУ обладает следующими особенностями:

✓ тяжелые большие рабочие органы – уверенная работа с влажной, скрученной, высокосоломистой массой;

✓ площадь обмолота и сепарации 3,3 м² и протяженная и гладкая траектория перемещения вороха – тщательный и бережный обмолот;

✓ широкий диапазон регулировок скорости вращения молотильного барабана и зазором подбарабаны – гибкая настройка под любые культуры и условия уборки;

✓ возможность сброса деки под барабаном-сепаратором – перевод двухбарабанного МСУ в режим работы однобарабанного.

Эргономика, комфорт, простое обслуживание

Просторное и «тихое» рабочее место оператора с эргономичными органами управления и отличной обзорностью тоже упоминается владельцами комбайна RSM 161 в разрезе преимуществ. Сейчас на машину устанавливают кабину Luxury Cab с усиленной шумоизоляцией.

В комплектацию входят платформа агроменеджмента Агротроник и бортовая информационно-голосовая система Adviser четвертого поколения с цветным сенсорным дисплеем, включающим в себя функции приема радиоканалов и чтения USB-флеш-накопителей.

Возможности для интенсификации работы

Лучший способ снять весомую часть нагрузки с человека – установка системы автовождения РСМ Пилот 1.0, которая не только ведет машину в поле, но и автоматически выполняет развороты, самостоятельно поднимая и опускающая адаптер. Стабильная работа на скорости до 30 км/ч, точность прохода до 2,5 см (при использовании базовых RTK-станций). При установке «автопилота» на несколько машин и дооснащении их системой РСМ Роутер комбайны можно объединять в звено.

Для еще более эффективной работы производитель рекомендует оснастить уборочную технику системой РСМ Адаптивный круиз-контроль, которая самостоятельно корректирует скорость движения комбайна в соответствии с изменением загрузки двигателя, наклонной камеры, МСУ, системы очистки. Таким образом, вместо постоянной поднастройки систем комбайна, требующей высокой квалификации оператора, мы изменяем скорость самой машины, оставляя настройки неизменными.

Электронные системы Ростсельмаш позволяют не только повысить производительность уборки, но и нивелировать проблемы, связанные с дефицитом комбайнеров вообще и сотрудников с высокой квалификацией в частности. Учитывая способность зерноуборочного комбайна RSM 161 к чистому обмолоту влажного вороха (будь то зерно, солома или все вместе), эти инструменты обеспечивают возможность увеличения уборочного времени за счет темного времени суток, обеспечивая безопасность и неизменное качество работы.

УДК 631.312.5

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-6-12-16

Исследование влияния конфигурации рабочих элементов рыхлителя на показатели рабочего процесса

В.И. Балабанов,*д-р техн. наук,
vbalabanov@rgau-msha.ru***А.А. Макаров,***ст. препод.,
amakarov@rgau-msha.ru
(ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева»);***М.В. Дулясова,***канд. техн. наук, проф.,
врио директора,
fgnu@rosinformagrotech.ru
(ФГБНУ «Росинформагротех»)*

Аннотация. На основе метода отображения рациональных деформаций пласта почвогрунта были разработаны новые конфигурации рабочих поверхностей лемеха, которые реализованы в физические модели рабочих органов и испытаны в лабораторных условиях. Представлены результаты экспериментальных исследований моделей рабочих органов мелиоративных глубокорыхлителей объёмного типа с лемехами различной конфигурации, позволившие выявить особенности и параметры деформации почвенного пласта при рыхлении и основные силовые зависимости.

Ключевые слова: объёмный рыхлитель, глубокое рыхление почвы без оборота пласта, лемех, деформация пласта, удельное сопротивление рыхлению, крошение, почвенные агрегаты.

Постановка проблемы

В настоящее время негативное влияние антропогенных факторов на плодородие почвы возрастает в связи с интенсификацией сельскохозяйственного производства. Возникла проблема уплотнения пахотного и подпахотного горизонтов почвы, связанная с использованием тяжелых тракторов, комбайнов и другой мощной сельскохозяйственной техники, увеличением объемов внесения минеральных удобрений и химических средств защиты растений от сорняков и вредителей.

Во время сельскохозяйственных и мелиоративных работ ходовые системы машинно-тракторных агрегатов покрывают следами от 40 до 80% поверхности поля, а поворотные полосы подвергаются 8-10-кратному воздействию движителей [1, 2].

Многочисленные проходы по полю машинно-тракторных агрегатов приводят к распылению верхнего и уплотнению нижнего слоев почвы, развитию ветровой и водной эрозии, повышению плотности почвы, снижению общей и капиллярной пористости ее плодородного слоя, что негативно сказывается на плодородии и эффективности традиционных способов обработки почвы. Кроме того, широкое использование отвальных плугов и плоскорезов ведет к образованию так называемой «плужной подошвы», которая препятствует движению влаги в нижние горизонты почвы. Это способствует развитию водной эрозии на склонах, а на равнинах и в низинах – к образованию мокрых «блюдеч», в которых застаиваются излишки талой и дождевой воды.

При уплотнении почвы ухудшаются водно-воздушный режим и условия минерального питания растений, снижается урожайность сельскохозяйственных культур, усиливаются эрозия почвы, засоренность посевов, их зараженность болезнетворными бактериями и вредителями, снижается эффективность вносимых удобрений, возрастают затраты материальных ресурсов на обработку почвы, что приводит к снижению жизнедеятельности микрофлоры и в конечном результате снижению плодородия и недобору урожая сельскохозяйственных культур.

Многочисленными исследованиями установлено, что каждой сельскохозяйственной культуре должно соответствовать определенное значение плотности почвы (объемной массы), так

как это наиболее важная характеристика, влияющая на весь комплекс условий произрастания растений, включая водно-воздушный, тепловой и микробиологический режимы. Оптимальные значения плотности почвы определены для большинства сельскохозяйственных культур. Так, для дерново-подзолистой глеевой почвы равновесные значения плотности составляют 1,4-1,6 г/см³, а оптимальные – 1,1-1,3 (меньшие значения указаны для пропашных культур) [3-5], т.е. существует предельная плотность, выше которой урожайность резко снижается.

Оптимальная плотность по своей абсолютной величине индивидуальна для каждого вида сельскохозяйственных растений и типа почв [4, 6]. Поэтому все системы обработки почвы направлены, прежде всего, на регулирование ее плотности, отклонение которой от оптимальных значений на 0,1-0,3 г/см³ приводит к снижению урожая на 20-40% [2]. Наименьшая плотность почвы (0,9-1,25 г/см³) требуется для картофеля.

Наиболее распространенным и универсальным методом работ является механическая обработка грунта различными рабочими органами. Она направлена на регулирование и оптимизацию таких агрофизических свойств почв, как строение, плотность, пористость и структурное состояние. Способствует разрыхлению обрабатываемого слоя, регулирует водно-воздушный и пищевой режимы, в результате создаются более благоприятные условия для роста и развития растений. Механическое рыхление почвы пока является наиболее эффективным и быстрым физическим способом уменьшения уплотнения почвы и повышения ее плодородия.

Установлено, что применение глубокого рыхления (до 80 см) на осушаемых землях Нечерноземной зоны России

способствовало повышению урожайности сельскохозяйственных культур до 30% [2, 3].

Существенно влияют на качество глубокой обработки почвы ее технологические или физико-механические свойства, которые определяют степень рыхления, крошения и уплотнения. Оптимальные размер и взаимное расположение почвенных агрегатов обеспечивают лучшее соотношение объемов твердой, жидкой и газообразной фаз.

Наибольшее распространение для рыхления прочных грунтов получили рыхлители пассивного действия с рабочими органами клыкового или зубового типа и лемехами, установленными на концах стоек (РУ.65-2.5, РК-1.2, РС-0,8, РГ-0.8А и др.) [2, 4, 7, 8]. Наряду со стоечными рыхлителями, чизельными плугами, щелевателями-кратователями известны рыхлители пассивного действия с V-образной формой рабочего органа (типа РГ-1,2; РГ-0,5; РГ-0,8). Анализ работы этих рыхлителей показал, что у них имеются существенные недостатки – они требуют больших тяговых усилий, неравномерно рыхлят пласт по глубине, образуют на поверхности 16% агрегатов почвы размером более 200 мм, требующих дополнительного измельчения. Рыхлители такого типа представляют особый интерес для совершенствования конструкции рабочих органов.

Условия взаимодействия рабочих органов стоечных и особенно объемных рыхлителей с грунтом существенным образом отличаются от рабочих органов землеройных машин (блокированное резание, большая глубина, увеличение плотности грунта нижних слоёв, требования к определенной степени и полноте рыхления). С увеличением глубины рыхления меняется характер деформации грунта лобовой поверхностью рабочего органа. В верхней зоне, непосредственно примыкающей к дневной поверхности, рабочий орган взаимодействует с грунтом уже нарушенного сложения, где происходят дробление, сдвиг и выпирание в сторону поверхности массива грунта. Начиная с определенной глубины, грунт подвергается периодическому сжатию с последующим отрывом его от мате-

риала на напряженное состояние грунта постепенно уменьшается по мере увеличения глубины.

Одной из основных проблем, на решение которых направлены поиски конструкторов, является снижение тягового сопротивления глубоких рыхлителей и энергоёмкости рыхлительного процесса в целом, а также повышение качества крошения почвы и создание однообразного фракционного состава по разрыхляемому профилю. Поиск ведется в направлении оптимизации параметров рабочих органов, рационального воздействия их на почву, применения комбинаций рабочих поверхностей различной конфигурации.

Цель исследования – совершенствование технологического процесса глубокого рыхления мелиоративным рыхлителем объёмного типа рациональной конструкции.

Материалы и методы исследования

Для изучения процесса деформации грунта при рыхлении и исследования влияния некоторых параметров объёмного рыхлителя на образование почвенной структуры и тяговое сопротивление был выполнен комплекс экспериментов на грунтовом канале с моделями рабочих органов пассивных рыхлителей.

Основной целью решения задачи по разработке прогрессивной конструкции объёмного рыхлителя является создание универсальных поперечных сечений и конфигураций рабочих поверхностей режущих элементов, способных выполнять рыхление почвогрунтов с минимальной энергоёмкостью процесса и обеспечивающих качество и полноту рыхления в соответствии с агротехническими требованиями. Вариационные ряды объёмных глубоких рыхлителей создавались при использовании морфологического метода вариаций параметров и конфигураций рабочих поверхностей режущих элементов рыхлителя. При этом выбирался базовый вариант и давались вариации

одного или нескольких параметров при неизменных других параметрах рабочего органа. Каждый из последующих вариантов может служить новым базовым вариантом и быть основой для создания нового вариационного ряда [8, 9].

Новые варианты конструктивных схем глубоких рыхлителей могут определяться числом сочетаний, т.е. C_m^n [9]:

$$C_m^n = \frac{m!}{n!(m-n)!}, \quad (1)$$

где m – число параметров рабочего органа;

n – число одновременно изменяемых параметров.

При создании новых схем рабочих органов глубоких рыхлителей были изучены и классифицированы в зависимости от их назначения и условий применения существующие конструкции и схемы. Разнообразие их конфигураций определяется возможными условиями работы, поэтому их очертания описываются как прямолинейными, так и криволинейными линиями, при этом конструкция лемеха пока остается неизменной. За основу для разработки конфигурации рабочих органов был взят морфологический ряд рабочих органов [1]. Далее с применением морфологического метода моделирования разрабатывались другие схемы и конфигурации рабочих органов глубоких рыхлителей с симметричными профилями, отдельные масштабные модели из которых были изготовлены в масштабе 1:4 при использовании теории физического моделирования и испытаны в лабораторных условиях (рис. 1).

Базовый вариант (серийно выпускаемый объёмный рыхлитель РГ-0,8) имеет две прямолинейные наклонные стойки, прикрепленные к лемеху в нижней части (см. рис. 1, мод. 1). Переменным параметром являлся угол наклона стойки. С помощью замены прямолинейных стоек базового варианта на криволинейные разработаны рабочие органы с дугообразными стойками, образующие замкнутый периметр (см. рис. 1,

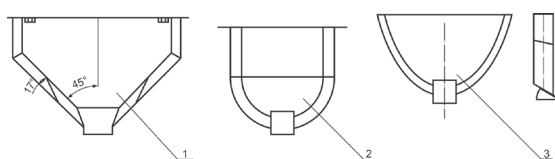


Рис. 1. Модели рабочих органов объёмных рыхлителей

мод. 2). Вариант 3 (см. рис. 1, мод. 3) имеет криволинейное полигональное сечение. В качестве базовой модели был принят рабочий орган объемного рыхлителя с V-образной конфигурацией боковых стоек. Другие две модели имели вертикальные стойки различной конфигурации: U – образную с постоянным радиусом $R = 13$ см и криволинейную параболическую типа $y = 0,2 \cdot x^2$ с углом резания 15° . В нижней части боковые стойки жестко соединены лемехом с углом резания 35° .

На основании исследований многих ученых, занимающихся созданием рациональных рабочих органов почвообрабатывающих орудий, составлена периодическая система лемехов, предложенная В.И. Ветехиным [10], в формировании которой в основном использовался метод отображения

рациональных деформаций пласта почвогрунта [11]. Характер изменения форм профилей должен соответствовать обоснованному рациональному характеру деформации почвогрунтов с минимумом энергозатрат. Окончательный выбор этих поверхностей был сведен к выбору формы поперечного профиля в переднем сечении и оценке соответствия рабочей поверхности в целом. После выбора поперечного и продольного профиля теоретическую рабочую поверхность необходимо поделить на функциональные части, характеризующие отделение пласта от массива, подъем его на определенную высоту и последующее крошение.

С некоторым приближением можно считать, что в результате процесса деформации почвы текущая и отсчетная конфигурации сравниваются и актуальная деформация становится отсчетной для следующего положения пласта почвы. При этом начальная форма контактной поверхности пласта формируется на переднем участке поверхности рабочего органа и может быть описана кривизной. При дальнейшем движении почвы по рабочей поверхности контактная поверхность взаимодействует со следующим участком рабочей поверхности, причем деформация пласта происходит как следствие динамического «сравнения» входной формы контактной поверхности пласта почвы k_p и текущей формы поверхности клина k_p (рис. 2).

При этом происходит отображение контактной поверхностью слоя почвы формы рабочей поверхности клина и поддержание градиента деформации по ширине контакта. В результате такого взаимодействия происходит

преобразование локального сжатия почвы на рабочей поверхности клина в растяжение объема пласта почвы, а форма орудия соответствует динамике процесса ее крошения. Так, были разработаны новые конфигурации рабочих поверхностей лемеха рыхлителя, продольные очертания поперечных профилей которого приведены на рис. 3.

Изменение рабочей поверхности от плоского клина до многогранного или выпукло-овального позволяет расчленивать рабочую поверхность на несколько составляющих и увеличить суммарное воздействие на отделяемый от массива пласт.

Для исследования физических моделей рыхлителей и получения лабораторных данных использовали грунтовой канал со специальной тележкой. Канал представляет собой металлическую емкость прямоугольного сечения, заполненную грунтом. Модель рабочего органа вместе с рамой, измерительным звеном, состоящим из тензодатчиков, преобразующих механические усилия в сигналы, образуют лабораторную установку. В процессе экспериментов изучался характер деформации и разрушения почвы, измерялись тяговое сопротивление, параметры разрыхленной почвы, такие как высота подъема разрыхленного грунта над исходной поверхностью Δh , определялись размеры комьев поперечного сечения в верхнем слое инструментальным способом и с применением методов фрактального анализа, определялся коэффициент разрыхления K_p (рис. 4).

Перед проведением экспериментов слой почвы 0-30 см послойно рых-

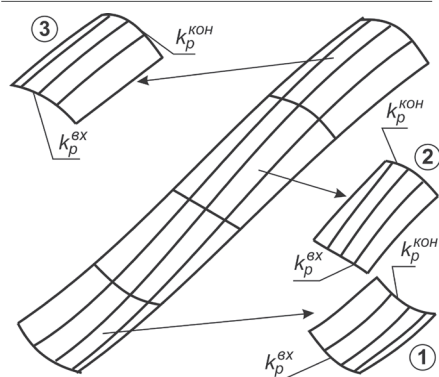


Рис. 2. Теоретическая форма рабочей поверхности и иллюстрация разбиения общей формы на физически подобные формы:

k_p^{ex} – исходная кривизна рабочей поверхности (передний обрез);
 $k_p^{кон}$ – конечная кривизна рабочей поверхности (задний обрез) [10]

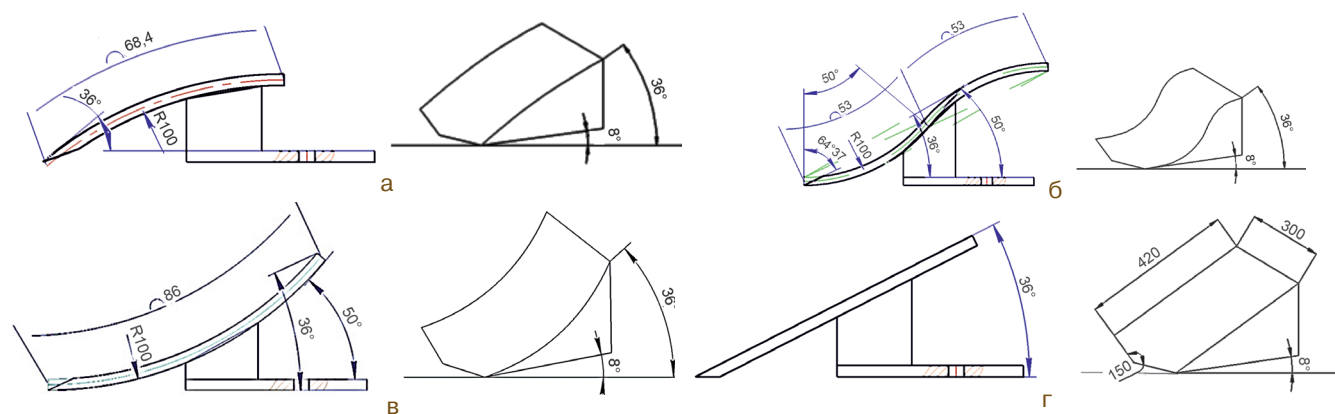


Рис. 3. Рабочие поверхности моделей лемеха: а – выпуклая; б – вогнуто-выпуклая; в – вогнутая; г – прямая

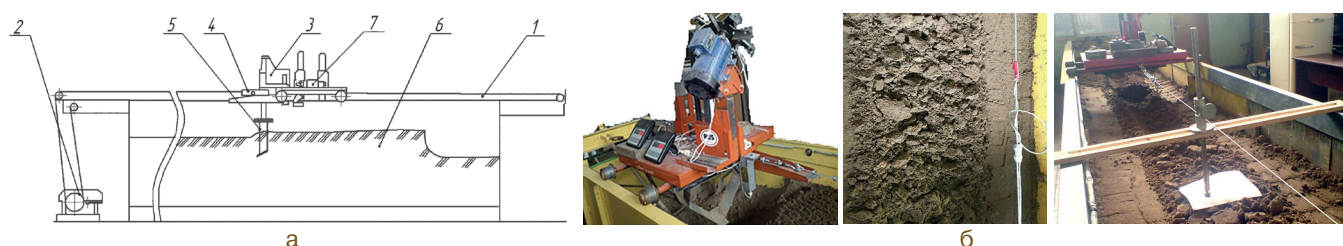


Рис. 4. Схема грунтового канала (а) и измерение параметров разрыхлённого грунта (б):

1 – направляющие; 2 – привод; 3 – тележка; 4 – тензодатчик; 5 – модель рыхлителя; 6 – ёмкость канала с грунтом; 7 – усилительный терминал

лился с последующим уплотнением и выравниванием. Испытания проводились на суглинистом грунте, плотность поддерживалась в пределах 1,8-1,9 МПа, влажность – 8,7-10,1%. Глубина обработки (0,2 м) и скорость передвижения рабочей тележки (0,36 м/с) были постоянными.

Для сравнительной оценки силовых и технологических показателей были испытаны рабочие органы с лемехами разного характера кривизны – выпуклым, вогнутым и вогнуто-выпуклым лемехом, устанавливаемыми на рабочем органе рациональной параболической конфигурации (рис. 5).

При проведении экспериментов с моделями лемехов, имеющих различную конфигурацию рабочей поверхности, был выполнен ряд однофакторных и многофакторных экспериментов, позволяющих на основе обработки и анализа полученных результатов разработать рекомендации по совершенствованию конструкции рыхлителя и снижению энергоемкости процесса рыхления грунта. В качестве базового для сравнительной оценки был выбран лемех с линейной рабочей поверхностью. Основные параметры и конструкция рыхлителя были выбраны

на основании предыдущих этапов исследований [4, 11].

Результаты исследований и обсуждение

Анализ полученных данных по сравнению с моделью серийного лемеха (РГ-0,8) показывает, что наименьшим тяговым сопротивлением обладает лемех с рабочей поверхностью вогнуто-выпуклой конфигурации (усилие меньше на 17,7%), при этом значение вертикальной составляющей увеличилось на 68 %. Лемех с вогнутой рабочей поверхностью обладает также хорошими показателями (усилие меньше на 4%), у него наблюдалось меньшее увеличение вертикальной составляющей, т.е. такой профиль лучше использовать на боковых стойках или дополнительных элементах рабочего органа рыхлителя. Обработка результатов эксперимента проводилась с помощью MS Excel и MathCAD.

Экспериментальные исследования подтвердили, что наименьшие энергетические показатели были получены по сравнению с рабочим органом с выпукло-вогнутой формой рабочей поверхности – тяговое усилие снизилось на 17,7%, удельная энергоемкость – на

15,6% по сравнению с базовой моделью (табл. 1).

Однако наибольший коэффициент разрыхления был получен при испытании рабочего органа с вогнутой формой рабочей поверхности лемеха (выпукло-вогнутой) $K_p = 1,3$. Величина подъёма разрыхленного почвогрунта над первоначальной поверхностью отличалась незначительно (табл. 2).

При разработке форм рабочей поверхности элементов рыхлительно-оборудования следует создавать профили лемеха и боковых стоек как выпукло-вогнутых, так и вогнутых профилей. Однако требуется уточнение диапазонов наиболее рациональных радиусов кривизны, обеспечивающих полноту рыхления и однообразия структуры разрыхленного почвогрунта. Результаты исследования фракционного состава комьев при проведении сравнительных экспериментов по исследованию влияния конфигурации рабочего органа на показатели процесса показали преобладание фракций средних размеров (рис. 6).

Из гистограмм видно, что при испытании моделей с различной формой ра-



Рис. 5. Модель U-образного рабочего органа объемного рыхлителя с лемехами разного характера кривизны

Таблица 1. Энергетические показатели процесса рыхления

Профиль лемеха	$F_{\text{тяг. ср.}}$		$K_{\text{уд.}}$ кН/м ²	$P_{\text{уд.}}$	
	Н	%		кВт/м ²	%
	318,3	117,7	8,13	14,64	115
	360,3	104	8,95	16,11	105
	364,5	102,8	9,1	16,38	103,3
	374,68	100	9,4	16,92	100

Таблица 2. Технологические показатели процесса рыхления

Профиль лемеха	Δh , см		$S_{\text{ср.}}$ см ²	K_p
	см	%		
	3,3	98,5	91,7	1,3
	3,46	103,3	102,5	1,34
	3,21	95,8	99,2	1,33
	3,35	100	96,7	1,32

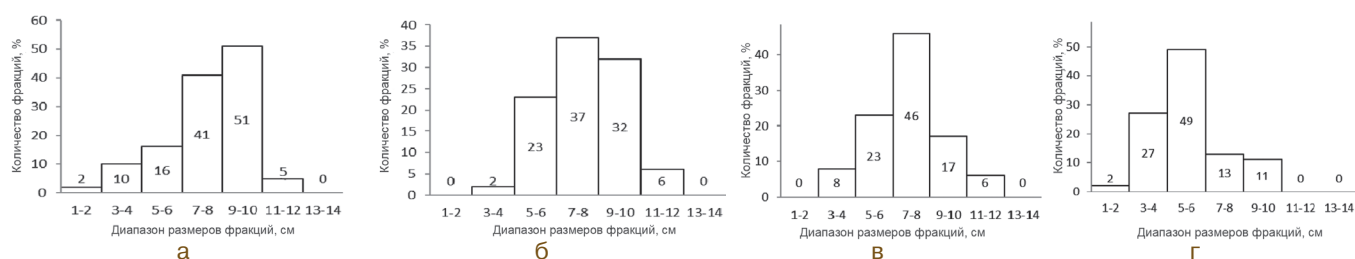


Рис. 6. Гистограммы распределения поперечных размеров фракций почвы в верхнем слое для модели рабочего органа с лемехом:
а – прямолинейной формы; б – выпукло-вогнутой; в – вогнутой; г – выпуклой формы

бочей поверхности лемеха преобладают средние значения фракций размерами 5-10 см (наиболее рекомендованные требованиями), причем при выпукло-вогнутой форме рабочей поверхности лемеха распределение размеров более равномерное, при выпуклой форме образовывалось наибольшее количество мелких фракций (4-6 см). Неплохие показатели наблюдаются у рабочих органов с лемехами выпукло-вогнутой и выпуклой формами рабочей поверхности. У рабочего органа с прямолинейной поверхностью преобладают более крупные фракции – 9-10 см.

Выводы

1. Безотвальное глубокое рыхление грунта без оборота пласта является наиболее эффективным приемом улучшения неблагоприятных физических свойств почв и их гидрологического режима, способствует преобразованию поверхностного стока во внутрипочвенный, повышению активной порозности почв, их фильтрации, более глубокому проникновению корней растений, увеличивает мощность плодородного слоя мелиорируемых почв. В результате глубокого рыхления урожай сельскохозяйственных культур увеличивается на 30% и более.

2. Испытаниями установлено, что агротехническая и энергетическая эффективность глубокого рыхления зависит от формы и параметров стоек, лемехов, а также схемы расстановки стоечных рыхлителей на раме орудия.

3. Одним из способов снижения энергоемкости глубокого рыхления почвы является использование конструкций рабочих органов, обеспечивающих различные виды деформаций почвы, например, сжатие-растяжение, сжатие-сдвиг, сжатие-кручение, т.е. использование эффекта, который вы-

ражается в снижении предела прочности на сжатие после предварительного растяжения за предел упругости. Этот эффект также проявляется при повторной нагрузке, не совпадающей по направлению с первоначальной. Этого можно достичь при использовании криволинейной вогнуто-выпуклой формы рабочей поверхности лемехов.

4. Из всех вариантов испытанных экспериментальных моделей лемехов наименьшая энергоемкость, приходящаяся на единицу площади рыхления (кН/м^2), наблюдается у рабочего органа с лемехом, имеющим криволинейную вогнуто-выпуклую рабочую поверхность. Применение лемеха указанной конфигурации снижает сопротивление рыхлению почвогрунта на 14-18% за счет постепенного увеличения угла резания от 10 до 36°. При этом наблюдалось более однородное и интенсивное рыхление.

Список

использованных источников

1. Балабанов В.И. Обоснование конструкции рабочего органа рыхлителя объёмного типа для улучшения агрофизических свойств почвы / В.И. Балабанов, Ю.П. Леонтьев, А.А. Макаров [и др.] // Мелиорация и водное хоз-во. 2023. № 2. С. 23-27.
2. Кизяев Б.М. Агроомелиоративные мероприятия на переувлажненных минеральных почвах. М.: ВНИИА, 2013. 140 с.
3. Кизяев Б.М. Развитие гидромелиорации для обеспечения воспроизводства почвенного плодородия в современных условиях / Б.М. Кизяев, С.Д. Исаева // Плодородие. 2018. № 1(100). С. 27-31.
4. Макаров А.А. Улучшение агрофизических свойств почв применением мелиоративного рыхлителя объёмного типа : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2023. 22 с.
5. Кирейчева Л.В. Оценка целесообразности введения в оборот неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения на примере Московской области, проведение оценки целесообразности / Л.В. Кирейчева, Н.А. Васильева // International Agricultural Journal. 2022. Т. 65, № 6.
6. Максименко В.П. Глубокое рыхление как способ повышения эффективности ресурсосберегающего земледелия / В.П. Максименко, Т.Л. Волчкова, С.А. Меньшикова // Мелиорация и водное хоз-во. 2018. № 3. С. 38-42.

7. Макаров А.А. Основы формирования потребительских свойств мелиоративных рыхлителей / А.А. Макаров, Ю.П. Леонтьев, П.В. Кононов // Доклады ТСХА (Москва, 3-5 декабря 2019 г.). Т. Вып. 292. Ч. II. М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2020. С. 83-88.

8. Леонтьев Ю.П. Влияние конструкции рабочего органа рыхлителя на тяговое сопротивление и особенности деформации грунта различной влажности / Ю.П. Леонтьев, А.А. Макаров // Доклады ТСХА (Москва, 2-4 декабря 2014 г.). Вып. 287. Т. II. Ч. I. М.: Грин Эра 2, 2015. С. 175-178.

9. Каифаш Ференц. Разработка технологии и технических средств для разуплотнения черноземных почв в Венгерской Республике : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01. М., 1998. 55 с.

10. Ветохин В.И. Системные и физико-механические аспекты проектирования рыхлителей почвы // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : матер. Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 10-11 октября 2012 г.). В 3-х т. Т. 1. Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2012. С. 65-75.

11. Макаров А.А. Экспериментальные исследования моделей рабочих органов глубокорыхлителей с различной конструкцией боковых стоек / Ю.П. Леонтьев, А.А. Макаров // Природообустройство. 2013. № 3. С. 81-85.

Study of the Influence of the Configuration of the Subsoiler Working Elements on the Work Process Indicators

V.I. Balabanov, A.A. Makarov
(RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazev)

M.V. Dulyasova
(FGBNU "Rosinformagrotech")

Summary. Using the method of displaying rational deformations of the soil layer the authors could develop new configurations of the working surfaces of the ploughshare which were implemented in the physical models of the working bodies and tested in the laboratory. The results of the experimental studies of the models of working bodies of the reclamation subsoilers of the volumetric type with the shares of various configurations are presented which made it possible to identify the features and parameters of the soil layer deformation during loosening and the main force dependencies.

Key words: volumetric subsoiler, deep loosening of the soil without rotation of the layer, ploughshare, layer deformation, loosening resistivity, crumbling, soil aggregates.

УДК 631.316.44

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-6-17-19

Анализ кинематики наклонных шестиугольных дисков культиватора

А.Р. Вахитов,
соискатель,
gadel9090@gmail.com

С.М. Яхин,
д-р техн. наук, проф.,
jcm61@mail.ru

И.И. Алиакберов,
канд. техн. наук,
aliakberovii@mail.ru
(ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ»)

Аннотация. Получены параметрические уравнения движения в пространстве наклонного шестиугольного диска культиватора для сплошной обработки почвы. Аналитическим способом определены зависимости для вычисления скорости и ускорения точек режущей кромки, которые определяют интенсивность воздействия диска на обрабатываемую почву и влияют на энергетические показатели работы культиватора.

Ключевые слова: культиватор, шестиугольные наклонные диски, перемещение, скорость, ускорение.

Постановка проблемы

Исследования, проведённые в Омском ГАУ, позволили выявить, что рациональной формой многоугольного рабочего органа, предназначенного для сплошной обработки почвы, является шестиугольный диск, закреплённый на валу ротационной батареи под прямым углом [1, 2]. Это связано с тем, что диапазон глубины обработки почвы, обеспечивающий надёжное защемление и разрезание почвенно-растительной массы, у него более широкий. Например, для дисков $\varnothing 0,495$ м он равен 0,05-0,165 м, тогда как для традиционных круглых дисков при тех же параметрах и условиях он не превышает 0,05-0,06 м.

В связи с внедрением новых технологий, предусматривающих обработку почвы на глубину до 0,16 м, применение шестиугольных дисков приобретает актуальность. Анализ показывает, что для комплексного повышения эффективности рыхления и крошения почвы, а также уничтожения сорняков более перспективны почвообрабатывающие орудия с шестиугольными дисками, которые закрепляются на валу ротационной батареи наклонно [3]. Разработанный в Казанском ГАУ культиватор для сплошной обработки почвы (далее – культиватор) содержит синхронно работающие две ротационные батареи, на валах которых жёстко закреплены наклонные шестиугольные диски особой геометрии [4].

Цель исследований – разработка теоретических предпосылок для определения кинематических параметров наклонных шестиугольных дисков культиватора.

Материалы и методы исследования

Методика исследования базировалась на основных положениях теоретической механики и аналитической геометрии. Общеизвестно, что обоснование параметров ротационных почвообрабатывающих орудий тесно связано с анализом кинематики их рабочих органов [5-7].

По геометрии исполнения шестиугольный диск культиватора неправильной формы, т.е. конструктивно выполнен «вытянутым» (рис. 1а). Для того чтобы профильная проекция диска становилась правильным шестиугольником, он закреплён на валу ротационной батареи под углом $\alpha = \arcsin(b/a)$, где b , a – малая и большая полуоси описанного эллипса шестиугольника, м.

При разработке конструкции культиватора использован принцип батарейного размещения шестиугольных дисков на валу с угловым их смещением друг относительно друга на строго расчётный угол. Это позволяет не только уравнивать осевые реакции почвы на рабочие поверхности диска, но и выравнивать (стабилизировать) положение оси вала батареи по высоте. С точки зрения кинематики стабилизация положения оси вала по высоте позволяет получить с достаточной степенью точности эффект ротационной батареи с круглыми дисками, что даёт возможность определить частоту вращения ω дисков исходя из поступательной скорости V_e культиватора по формуле: $\omega = V_e / R$, где R – радиус описанной окружности диска (далее – радиус диска).

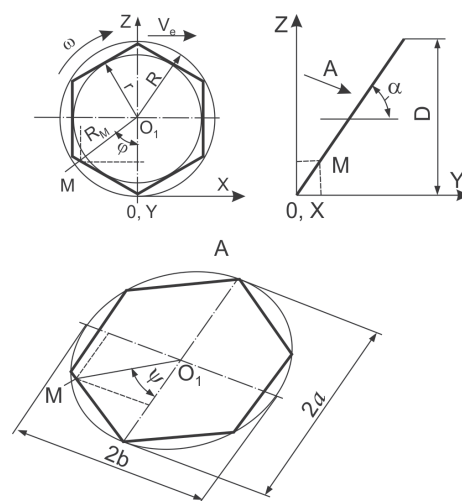


Рис. 1. Схема к исследованию кинематики:

φ – полярный угол; α – угол закрепления диска на валу; ω – угловая скорость диска; V_e – поступательная скорость культиватора; r и R – радиусы вписанной и описанной окружностей диска; D – диаметр диска

Параметрические уравнения, характеризующие перемещение выбранной на режущей кромке диска произвольной точки М в прямоугольной пространственной системе координат OXYZ имеют вид

$$\left. \begin{aligned} X_M &= R\varphi - R_M \sin \varphi, \\ Y_M &= (R - R_M \cos \varphi) / \operatorname{tg} \alpha, \\ Z_M &= R - R_M \cos \varphi, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где X_M , Y_M и Z_M – абсцисса, ордината и аппликата исследуемой точки, м;

R – радиус диска, м;

R_M – радиус нахождения рассматриваемой точки, м;

φ – полярный угол, град.;

α – угол закрепления диска на валу, град.

Радиус нахождения точек режущей кромки диска является переменным параметром и в зависимости от радиуса r вписанной в диск окружности и полярного угла φ вычисляется согласно формулам:

первый сегмент ($0^\circ \leq \varphi \leq 60^\circ$) $R_M = 2r / (\sqrt{3} \cos \varphi + \sin \varphi)$;

второй сегмент ($60^\circ < \varphi \leq 120^\circ$) $R_M = r / \sin \varphi$;

третий сегмент ($120^\circ < \varphi \leq 180^\circ$) $R_M = -2r / (\sqrt{3} \cos \varphi - \sin \varphi)$;

четвёртый сегмент ($180^\circ < \varphi \leq 240^\circ$) $R_M = -2r / (\sqrt{3} \cos \varphi + \sin \varphi)$;

пятый сегмент ($240^\circ < \varphi \leq 300^\circ$) $R_M = -r / \sin \varphi$;

шестой сегмент ($300^\circ < \varphi \leq 360^\circ$) $R_M = 2r / (\sqrt{3} \cos \varphi - \sin \varphi)$.

В связи с тем, что точка режущей кромки диска движется по сложной траектории, величина её перемещения в пространстве вычисляется по выражению

$$S_M = \sqrt{(R\varphi - R_M \sin \varphi)^2 + [(R - R_M \cos \varphi) / \sin \alpha]^2}. \quad (2)$$

На энергетические показатели работы культиватора и интенсивность воздействия шестиугольного диска на обрабатываемую среду влияют величина и направление скорости и ускорения точек режущей кромки. Скорость движения рассматриваемой точки можно вычислить путём дифференцирования (1) по времени

$$\left. \begin{aligned} V_M^X &= \omega(R - R_M \cos \varphi), \\ V_M^Y &= \omega R_M \sin \varphi / \operatorname{tg} \alpha, \\ V_M^Z &= \omega R_M \sin \varphi. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Величина абсолютной скорости точки режущей кромки диска определяется согласно выражению

$$V_M = \omega \sqrt{(R - R_M \cos \varphi)^2 + (R_M \sin \varphi / \sin \alpha)^2}. \quad (4)$$

Для определения ускорения точки дифференцируем выражение (3) по времени, получим

$$\left. \begin{aligned} a_M^X &= \omega^2 R_M \sin \varphi, \\ a_M^Y &= \omega^2 R_M \cos \varphi / \operatorname{tg} \alpha, \\ a_M^Z &= \omega^2 R_M \cos \varphi. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Следовательно, формула для определения абсолютного ускорения исследуемой точки имеет следующий вид:

$$a_M = \omega^2 R_M \sqrt{1 + (\cos \varphi / \operatorname{tg} \alpha)^2}. \quad (6)$$

Результаты исследований и обсуждение

Для анализа проведён практический расчёт скорости и ускорения точек режущей кромки шестиугольного диска при следующих исходных данных и рациональных параметрах: $D = 0,42$ м; $\alpha = 70^\circ$; $V_e = 10,8$ км/ч = 3 м/с; $\omega = 14,28$ с⁻¹; $r = 0,18$ м; $R = 0,21$ м и в результате построены соответствующие графики их изменения в пределах периода, т.е. одного оборота диска.

В связи с тем, что периметр шестиугольного диска представляет собой замкнутую ломаную линию, графики изменения кинематических параметров также носят ломаный характер. Составляющая скорости V_M^X (рис. 2), направленная по оси X , достигает максимального значения (6 м/с) при $\varphi = 180^\circ$. Когда $\varphi = 0^\circ(360^\circ)$, данная составляющая скорости равна 0.

Составляющая скорости точки V_M^Y , направленная по оси Y , в интервале угла $\varphi = 60-120^\circ$ постоянна по величине $V_M^Y = 0,94$ м/с, поскольку произведение $(R_M \sin \varphi)$, входящее в выражение (3), в указанном угловом интервале имеет постоянное значение.

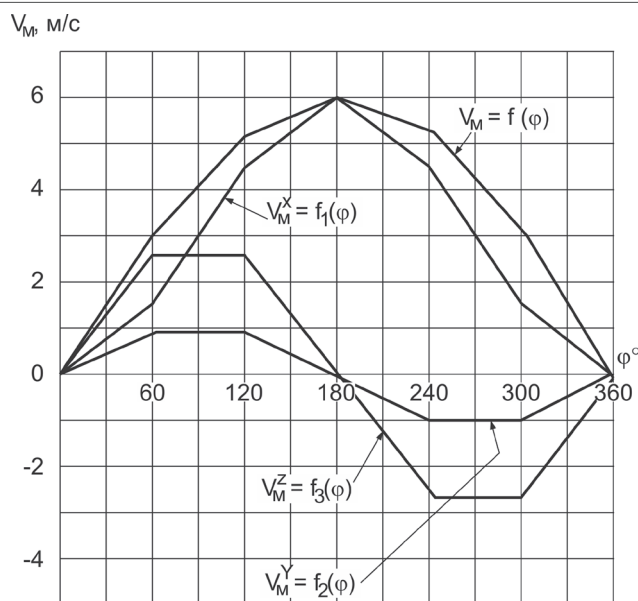


Рис. 2. Графики скоростей точки режущей кромки диска

В интервале угла $\varphi = 240-300^\circ$ она по указанной причине также постоянна по величине, однако меняет своё направление на противоположное: $V_M^Y = -0,94$ м/с. При углах $\varphi = 0^\circ(360^\circ)$ и $\varphi = 180^\circ$ составляющая скорости равна 0. Изменение составляющей скорости V_M^Z , которая направлена по оси Z , идентично изменению составляющей скорости V_M^Y . В интервале угла $\varphi = 60-120^\circ$ она также постоянна по величине: $V_M^Z = 2,59$ м/с, так как в указанном угловом интервале частное $(R_M \sin \varphi / \operatorname{tg} \alpha)$, входящее в уравнения (3), имеет постоянное значение.

В интервале угла $\varphi = 240-300^\circ$ она по указанной причине также постоянна по величине, но меняет своё направление на противоположное, т.е. $V_M^Z = -2,59$ м/с. При углах $\varphi = 0^\circ(360^\circ)$ и $\varphi = 180^\circ$ составляющая скорости $V_M^Z = 0$. Абсолютная скорость V_M , т.е. скорость резания почвы режущими кромками диска, достигает своего максимального значения (6 м/с) при угле $\varphi = 180^\circ$.

Характер изменения ускорений точки режущей кромки диска в различных плоскостях различен (рис. 3).

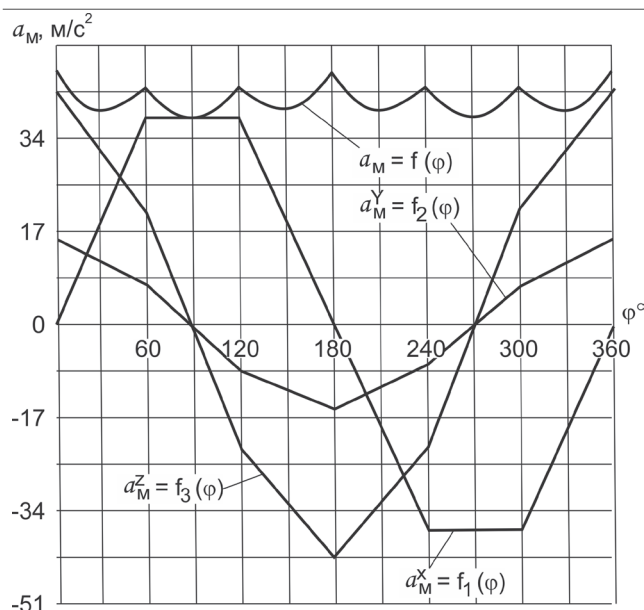


Рис. 3. Графики ускорений точки режущей кромки диска

Горизонтальная составляющая ускорения точки a_M^X в интервале $\varphi = 60-120^\circ$ постоянна по величине: $a_M^X = 37$ м/с², поскольку произведение $(R_M \sin \varphi)$, входящее в выражения (5), в указанном угловом интервале имеет постоянное значение. В интервале $\varphi = 240-300^\circ$ она постоянна по величине, однако меняет направление на противоположное: $a_M^X = -37$ м/с². При углах $\varphi = 0^\circ(360^\circ)$ и $\varphi = 180^\circ$ данная составляющая ускорения равна 0.

Составляющие ускорения a_M^Y и a_M^Z , направленные по осям соответственно Y и Z , при углах $\varphi = 0^\circ(360^\circ)$ достигают своих максимальных значений, равных 15,6 и 42,8 м/с² соответственно, а при $\varphi = 180^\circ$ — меняют свои направления на противоположные, т.е. $a_M^Y = -15,6$ м/с² и $a_M^Z = -42,8$ м/с². Когда угол φ равен 90° и 270° , составляющие ускорения равны 0.

Изменение абсолютного ускорения точки a_M за период носит «пилообразный» характер. Максимального значения (45,9 м/с²) оно достигает дважды при углах $\varphi = 0^\circ(360^\circ)$ и $\varphi = 180^\circ$. Минимального значения (37 м/с²) оно также достигает дважды — при $\varphi = 90^\circ$ и $\varphi = 270^\circ$.

Сложная пространственная траектория движения дисков и переменный характер скорости и ускорения точек их режущих кромок за период (оборот) как по величине, так и по направлению способствуют интенсивной деформации, рыхлению и крошению почвы и разрушению комков, а также уничтожению сорняков.

Выводы

1. Анализ показал, что для комплексного повышения эффективности рыхления и крошения почвы, а также уничтожения сорняков более перспективны шестиугольные диски, которые закрепляются на валу ротационной батареи наклонно.
2. Разработанный в Казанском ГАУ культиватор для сплошной обработки почвы содержит синхронно работающие две ротационные батареи, на валах которых жёстко закреплены шестиугольные диски особой геометрии, причём строго под расчётным углом наклона к оси вращения.
3. Аналитическим методом выведены параметрические уравнения для определения траектории движения наклонных шестиугольных дисков в пространстве, а также выражения для вычисления скорости и ускорения точек их режущей кромки.
4. Анализ полученных выражений показал, что наклонные шестиугольные диски перемещаются в пространстве по сложной траектории. Скорость и ускорение точек их режущих кромок за период (оборот) диска являются переменными параметрами как по величине, так и по направлению, что способствуют интенсивной деформации, рыхлению и крошению почвы, а также уничтожению сорняков.

Список использованных источников

1. Союнов А.С. Обоснование параметров дисковых рабочих органов почвообрабатывающих орудий: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Омск, 2011. 135 с.
2. Кобяков И.Д. Механико-технологические основы работы шестиугольных дисковых рабочих органов почвообрабатывающих орудий: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01. Новосибирск, 2012. 316 с.
3. Яхин С.М., Алиакберов И.И., Вахитов А.Р. Обоснование параметров ротационного орудия для поверхностной обработки почвы с наклонными шестиугольными дисками // Вестник Казанского ГАУ. 2022. № 4(68). С. 106-111.
4. Патент № 2792764 МПК Российская Федерация. Дисковая почвообрабатывающая секция: / Яхин С.М., Алиакберов И.И., Вахитов А.Р.: заявитель и патентообладатель Казанский ГАУ; заявл. 01.06.2022; опубл. 23.03.2023. Бюл. № 9. 4 с.
5. Сохт К.А., Трубилин К.А., Кисилев В.И. Дисковые бороны и лущильники. Краснодар: Кубанский ГАУ, 2014. 164 с.
6. Канарёв Ф.М. Ротационные почвообрабатывающие машины и орудия. М.: Машиностроение, 1983. 142 с.
7. Gainutdinov R., Zemdikhano M. Kinematics of the disk working body for ground development / E3S Web of Conferences 274, 11006 (2021): <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127411006> (дата обращения: 19.04.2023).

Analysis of the Kinematics of the Cultivator Inclined Hexagonal Disks

A.R. Vakhitov, S.M. Yakhin, I.I. Aliakberov
(Kazan State Agrarian University)

Summary. Parametric equations of motion in space of an inclined hexagonal disk of a cultivator for continuous tillage have been obtained. Dependencies were determined analytically to calculate the speed and acceleration of the cutting edge points, which determine the intensity of the impact of the disk on the cultivated soil and affect the energy performance of the cultivator.

Key words: cultivator, hexagonal inclined disks, movement, speed, acceleration.

УДК 631.331

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-6-20-22

Роботизированное кассетное загрузочное устройство конвейерного типа для селекционной сеялки

А.С. Чулков,

канд. техн. наук, вед. науч. сотр.,

andrei.chulkov@mail.ru

М.М. Шайхов,

mars.shaihov@yandex.ru

(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Аннотация. Разработана конструкционная схема роботизированного кассетного загрузочного устройства конвейерного типа, описан принцип его работы, рассчитаны габаритные размеры кассет и блока кассет. Предложенное техническое решение разработано для интеграции в селекционную кассетную сеялку. Внедрение роботизированного кассетного загрузочного устройства будет содействовать повышению производительности выполнения технологического процесса посева и сокращению применения ручного труда в 2 раза на втором этапе селекции зерновых и других культур.

Ключевые слова: посев, селекция, кассетная селекционная сеялка, роботизированное кассетное загрузочное устройство, блок кассет.

Постановка проблемы

Для создания новых сортов зерновых и других сельскохозяйственных культур необходимо использование ресурсосберегающих технологий и совершенствование селекционной техники в направлении применения автоматизированных и роботизированных систем, позволяющих минимизировать ручной труд и повысить производительность селекционных работ [1-2].

На втором этапе селекции зерновых и зернобобовых культур для посева применяют кассетные селекционные сеялки с автономными порционными высевальными аппаратами [3-4]. Загрузка высевальных аппаратов семенами осуществляется кассетными загрузочными устройствами (далее – КЗУ) [5]. В результате проведенного анализа технических решений кассетных загрузочных устройств для высевальных аппаратов селекционных сеялок установлено, что их совершенствование может развиваться в направлении роботизации [6].

Цель исследований – разработать роботизированное кассетное загрузочное устройство (далее – РКЗУ) конвейерного типа для загрузки высевальных аппаратов селекционной кассетной сеялки.

Материалы и методы исследования

При разработке конструкционной схемы РКЗУ применили системный подход, в том числе проработку роботизиро-

ванного устройства по отдельным взаимодействующим функциональным частям [7].

РКЗУ должно быть выполнено в соответствии с ГОСТ Р 60.0.0.4–2019/ISO 8373:2012. Оно устанавливается на кассетную селекционную сеялку для посева зерновых, зернобобовых и других культур на втором этапе селекционных работ в соответствии с ОСТ 46 73-78.

Кассетные загрузочные устройства для подачи высеваемого материала к автономным порционным высевальным аппаратам были реализованы как на отечественных селекционных сеялках (СКС-6-10, СКС-6А, СН-10Ц(К), ССС-2-6 и др.) [8], так и на зарубежных сеялках компаний Haldrup (Германия), Wintersteiger AG (Австрия) и др. Технологический процесс предусматривает предпосевное размещение семян в специальных кассетах с ячейками. Блок, составленный из последовательно установленных на направляющей пластине кассет, фиксируют на рабочем столе КЗУ. При выполнении посева кассеты последовательно сходят с пластины и освобождаются от семян. Установку на рабочем столе каждого из последующих блоков оператор выполняет вручную.

Для перемещения кассет к отверстиям для выгрузки семян и подачи блоков кассет в рабочую зону без участия оператора предложено использовать роботизированное кассетное загрузочное устройство, которое должно быть выполнено в соответствии с ГОСТ Р 60.0.0.4–2019/ISO 8373:2012.

Согласно ОСТ 46 73-78, на втором этапе работ на одной делянке должен производиться посев до 500 семян зерновых или до 300 семян зернобобовых культур. Такое количество посевного материала гарантированно размещается в ячейке объемом 50 мл. Кассеты для РКЗУ рекомендовано изготавливать из ABS-пластика (сополимера акрилонитрила, полибутадиена и стирола) методом 3D-печати или литьем под давлением.

Габаритные размеры кассеты определяются объемом и количеством ячеек. Разработанная модель кассеты с шестью ячейками объемом 50 мг каждая представлена на рис. 1.

Результаты исследований и обсуждение

В результате моделирования получены следующие габаритные размеры кассеты: $A = 215$ мм, $B = 60$ мм, $H = 73$ мм. Длина блока кассет $L_{б.к.}$ и направляющей пластины $L_{н.п.}$ с учетом количества кассет в блоке вычисляется по формуле

$$L_{б.к.} = L_{н.п.} = B \cdot m + 2j, \quad (1)$$

где m – число кассет в блоке;

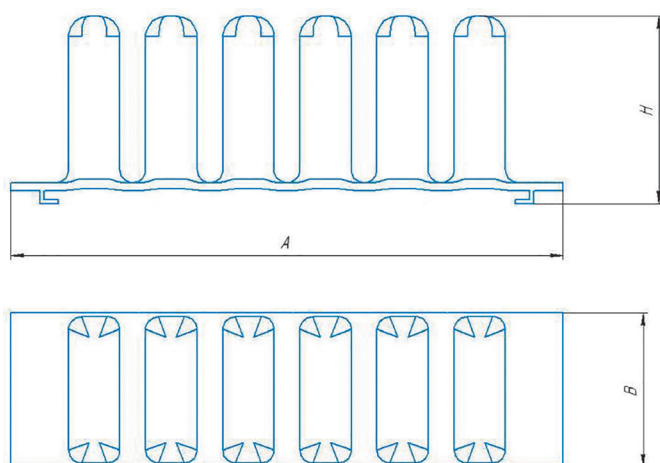


Рис. 1. Модель кассеты с шестью ячейками и её геометрические размеры, мм:

A – длина; B – ширина; H – высота

j – удлинение пластины с торцевых сторон для обеспечения её фиксации, мм (конструкционный размер $j = 7,5$ мм).

Для предлагаемой схемы РКЗУ конвейерного типа с числом кассет в блоке $m = 10$ длина блока кассет составляет $L_{б.к.} = 615$ мм, ширина – соответствует ширине кассеты $A = 215$ мм, высота – высоте кассеты $H = 73$ мм.

Габаритные размеры РКЗУ зависят от селекционной кассетной сеялки, в которую оно должно быть интегрировано, при этом длина РКЗУ, L_1 , мм, не должна превышать длины свободной площадки рамы селекционной кассетной сеялки, ширина, B_1 , мм – ширины рамы селекционной кассетной сеялки, высота, H_1 , мм, определяется расположением его

рабочей зоны на необходимой высоте относительно высевочных аппаратов селекционной кассетной сеялки, а также с учетом количества уровней и высоты конвейеров РКЗУ.

Для разработки конструктивной схемы РКЗУ конвейерного типа был выполнен эскизный проект, дающий общее представление о его принципах действия и конструкции. Разработанная конструктивная схема роботизированного кассетного загрузочного устройства конвейерного типа представлена на рис. 3. На данное техническое решение получен патент РФ № 2807037 на изобретение.

РКЗУ содержит программно-управляемые механизмы для перемещения кассет с высевочным материалом к отверстиям для выгрузки семян (для дальнейшего направления их к высевочным аппаратам) и перемещения кассетных блоков к рабочей зоне. Кассеты имеют пазы, по которым последовательно нанизываются на направляющую пластину и формируют блок кассет.

Манипулятор РКЗУ представляет собой механизм с двумя степенями подвижности, последовательно перемещающий кассеты в сторону высевочных аппаратов и блоки кассет в рабочую зону.

На раме размещены по четыре натяжных и приводных звездочки, на которых установлены две левые и две правые цепные или ременные передачи с попарно симметричными лопатками, образующие левый и правый вертикальные конвейеры. При нахождении в зоне между двумя конвейерами каждая пара симметрично расположенных лопаток образует горизонтальный уровень, на котором размещается блок кассет.

Конвейеры расположены вдоль рамы и через привод приводятся в синхронное движение шаговым электродвигателем. При этом они вращаются разнонаправленно: левый конвейер – по часовой, а правый – против часовой стрелки.

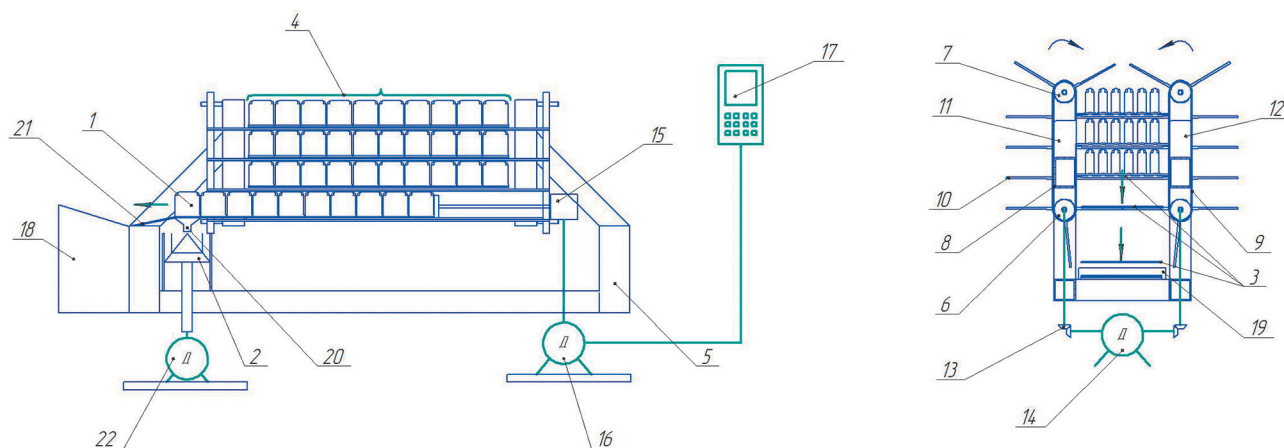


Рис. 3. Схема РКЗУ конвейерного типа (виды сбоку и сзади):

- 1 – кассета с ячейками для высевочного материала; 2 – высевочный аппарат; 3 – направляющая пластина;
- 4 – кассетный блок; 5 – рама РКЗУ; 6 – натяжная звездочка; 7 – приводная звездочка; 8 – левая цепная передача;
- 9 – правая цепная передача; 10 – лопатка вертикального конвейера; 11 – левый вертикальный конвейер;
- 12 – правый вертикальный конвейер; 13 – элемент механизма привода конвейера; 14 – шаговый электродвигатель привода конвейера;
- 15 – актуатор с толкателем кассет; 16 – электродвигатель привода актуатора;
- 17 – блок управления; 18 – контейнер для сбора пустых кассет; 19 – емкость для сбора направляющих пластин;
- 20 – отверстия для выгрузки семян из ячеек кассеты; 21 – наклонный лоток для спуска пустых кассет;
- 22 – шаговый электродвигатель привода высевочного аппарата

Шаг расстановки и передвижения лопаток соответствует высоте уровня (равен перемещению блока кассет на один уровень).

Актuator с толкателем, приводимый в действие электродвигателем, установлен на раме на противоположной от высевашего аппарата стороне в зоне нижнего уровня конвейеров. Высеваший аппарат приводится в действие шаговым электродвигателем.

Электродвигатели управляются блоком управления и приводятся в действие по алгоритму в соответствии со схемой посева культуры на селекционном участке. На раме за высевашим аппаратом размещен контейнер для сбора освобожденных от семян кассет. Емкость под конвейерами предназначена для сбора направляющих пластин.

Перед началом работы оператор загружает уровни конвейеров кассетными блоками с высевашим материалом. Оператор-тракторист подводит сеялку к линии начала первой делянки, включает блок управления, вводит исходные параметры для выполнения посева. В соответствии со скоростью движения сеялки по реализуемой блоком управления программе регулируется скорость вращения конусного высевашего аппарата и выполняется перемещение кассет по направляющей пластине.

Шток актуатора выдвигается и перемещает кассеты с высевашим материалом в направлении высевашего аппарата. Пройдя через выгрузные отверстия, высеваший материал поступает по семяпроводам в высеваший аппарат, далее – в открытую сошником борозду и заделывается почвой. Пустая кассета сходит по наклонному лотку в сборный контейнер. После схода с направляющей пластины всех кассет по команде блока управления шток актуатора возвращается в исходное положение.

После этого манипулятор РКЗУ подает очередной блок кассет с семенами в рабочую зону. Шаговый электродвигатель с приводом синхронно передвигает лопатки конвейеров и перемещает блоки кассет на один уровень вниз. При этом лопатки, находившиеся ранее на нижнем уровне, расходятся и выходят из зоны между конвейерами, а направляющая пластина под действием силы тяжести перемещается в емкость. Далее процесс повторяется.

После освобождения всех блоков кассет от семенного материала оператору подается сигнал о необходимости остановки сеялки и загрузки РКЗУ новыми кассетными блоками. Сеялка останавливается, блок управления прекращает работу РКЗУ. Технологический процесс может быть возобновлен после перезагрузки устройства новыми блоками кассет.

Достоинством представленной схемы РКЗУ конвейерного типа является обеспечение роботизированной подачи кассет к высевашему аппарату. РКЗУ позволит снизить количество обслуживающего персонала до одного человека.

Выводы

1. Разработана конструкционная схема роботизированного кассетного загрузочного устройства конвейерного типа и описан принцип его работы. Рассчитаны габаритные размеры кассет и их блоков, даны рекомендации по габаритным размерам РКЗУ при интеграции его в селекционную кассетную сеялку.

2. Предложенное техническое решение РКЗУ конвейерного типа для загрузки автономных высеваших аппаратов разработано для интеграции в кассетную селекционную сеялку различного типа.

3. Внедрение РКЗУ будет содействовать повышению производительности выполнения технологического процесса посева и сокращению применения ручного труда в 2 раза на втором этапе селекции зерновых и зернобобовых культур.

Список использованных источников

1. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства // С.-х. машины и технологии. 2021. Т. 15. № 4. С. 6-10. URL: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>. EDN: YFRZDV.
2. Измайлов А.Ю. Интеллектуальные технологии и роботизированные средства в сельскохозяйственном производстве // Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89. № 5. С. 536-538. URL: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895536-538>. EDN: UKKACW.
3. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Шогенов Ю.Х. Научно-технические достижения агроинженерных научных учреждений для производства основных групп сельскохозяйственной продукции // Техника и оборудование для села. 2021. № 4 (286). С. 2-11. EDN: LAQWUJ.
4. Чулков А.С., Текушев А.Х., Шайхов М.М. Разработка схемы размещения элементов автоматизированного управления и контроля селекционной сеялки // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2022. Т. 69, № 4(49). С. 104-108. DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-4-104-108. EDN CWQCER.
5. Жалнин Э.В. Возродим селекцию и семеноводство // Сельский механизатор. 2014. № 7. С. 4-5.
6. Чулков А.С., Шайхов М.М., Чаплыгин М.Е., Текушев А.Х. Кассетные загрузочные устройства для высеваших аппаратов селекционных сеялок // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2023. Т. 70. № 2(51). С. 74-81. DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-2-74-81. EDN TUJELT.
7. Yaropud V., Datsiuk D. By improving breeding seeder sowing device small seeded crops // Vibrations in engineering and technology. 2021. No. 1. 152-162. DOI: 10.37128/2306-8744-2021-1-15.
8. Анискин В.И., Некипелов Ю.Ф. Механизация опытных работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве зерновых и зернобобовых культур. М.: ВИМ. 2004. 200 с.

Conveyor-type Robotic Cassette Loading Device for a Selection Seeder

A.S. Chulkov, M.M. Shaikhov

(FGBNU FNATS VIM)

Summary. The structural diagram of a conveyor-type robotic cassette loading device has been developed, the principle of its operation is described, and the overall dimensions of the cassettes and the cassette unit are calculated. The proposed technical solution is designed for integration into a selection cassette seeder. The implementation of the robotic cassette loading device will help increase the productivity of the sowing technological process and reduce the use of manual labor by 2 times at the second stage of selection of grains and other crops.

Key words: sowing, selection, cassette selection seeder, robotic cassette loading device, cassette unit.

УДК 636.08

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-6-23-28

Цифровые инструменты повышения эффективности экспериментальных исследований энергоёмкости обеззараживания свиного бесподстилочного навоза механическими колебаниями на частоте ультразвука

Н.В. Лимаренко,

д-р техн. наук, доц., проф. кафедры
(ФГБОУ ВО «Донской ГТУ»),
проф. кафедры
limarenkodstu@yandex.ru

А.В. Шемякин,

д-р техн. наук, проф.,
shem.alex62@yandex.ru

И.А. Успенский,

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой,
ivan.uspensckij@yandex.ru

И.А. Юхин,

д-р техн. наук, доц., зав. кафедрой,

С.В. Митрохин,

аспирант,
serg.m1trohin@yandex.ru
(ФГБОУ ВО «Рязанский ГАТУ им. П.А. Костычева»)

Аннотация. Описаны этапы создания цифрового инструмента, повышающего эффективность операционных воздействий, на примере обеззараживания свиного бесподстилочного навоза механическими колебаниями на частоте ультразвука. Разработанный цифровой инструмент позволяет прогнозировать влияние температуры среды в рабочей камере и продолжительности экспозиции на удельную энергоёмкость. Оценка достоверности результатов экспериментальных исследований по сравнению с результатами, полученными расчётным путём с использованием созданного цифрового инструмента, показала отклонение, не превышающее 3%. Обоснована перспективность использования языка программирования Python с прикладными библиотеками Matplotlib и Tkinter для решения задач подобного уровня.

Ключевые слова: свиной бесподстилочный навоз, обеззараживание, оценка, удельная энергоёмкость обеззараживания, цифровые инструменты.

Исследование выполнено в рамках Госзадания Министерства сельского хозяйства Российской Федерации на тему: «Разработка цифровой платформы повышения энергетической эффективности при обеззараживании бесподстилочного навоза»

Постановка проблемы

Согласно данным Росстата и публично-правовой компании «Российский экологический оператор», в 2023 г. было образовано свыше 45 млн т свежего навоза. Порядка 57-65 % данного объёма составляет жидкая фракция.

Как отмечается в декларациях обращения с отходами сельхозтоваропроизводителей, направлениями утилизации свежего навоза являются: переработка в перегной, сапропель; гранулирование; использование в качестве жидкой подкормки; применение для удобрения почвы и растений.

Проблема экологически безопасного использования отходов в данных направлениях заключается в необходимости их эффективного обеззараживания. Составляющими эффективности обеззараживания навоза являются продолжительность, энергетические затраты, соответствие санитарно-эпидемиологическим требованиям безопасности, а также возможность цифровизации. Соответственно, повышение эффективности обеззараживания навоза является актуальной и значимой задачей для науки и техники, требующей комплексного подхода.

Учитывая значительные объёмы жидкой фракции влажностью свыше 80 %, необходимо совершенствование существующих способов обеззараживания. Как показал анализ информационных источников [1-4], перспективным способом обеззараживания жидкой фракции навоза, в том числе свиного бесподстилочного, является воздействие механическими колебаниями на частоте ультразвука, преимущественно на низких значениях (до 100 кГц).

Ультразвуковая обработка жидких сред обладает высоким потенциалом для создания синергетических эффектов, интенсифицирующих процесс обеззараживания. Суть данного воздействия состоит в комбинации кавитационных эффектов, теплового воздействия и механической стимуляции, способствующих разрыву оболочек патогенных и условно-патогенных микроорганизмов. При кавитации, вызванной низкочастотными (до 100 кГц) ультразвуковыми волнами, образуются микроскопические пузырьки в жидкости, которые при схлопывании выделяют значительное количество энергии [5-7]. Данный процесс способствует разрушению клеточных стенок патогенных микроорганизмов, тем самым обеспечивая их инактивацию.

Кроме того, ультразвуковая обработка способствует улучшению смешивания и однородности навозной смеси, что облегчает доступ активных агентов к микроорганизмам и ускоряет процесс обеззараживания. Синергетические эффекты ультразвуковой обработки могут быть дополнительно усилены путем комбинирования с другими методами обеззараживания, например химическим,

в частности с использованием пероксида водорода или озона [8, 9].

Согласно результатам исследований [7-10], значимым фактором при обработке жидких отходов ультразвуком, определяющим энергетические затраты, является продолжительность экспозиции. Обобщить эмпирический опыт в данном вопросе и автоматизировать принятие решений возможно путём использования цифровых инструментов.

В настоящее время доступны мультидисциплинарные цифровые пакеты, позволяющие моделировать широкий круг процессов. Например, COMSOL Multiphysics, Ansys позволяет моделировать физические процессы и влияние ультразвуковых колебаний на свиной навоз, что помогает оптимизировать параметры процесса без физического проведения экспериментов. LabWare или Starlims обеспечивают управление экспериментальными данными, контроль качества и соблюдение нормативных требований. Платформы машинного обучения и искусственного интеллекта TensorFlow или IBM Watson могут применяться для выбора оптимальных параметров эксперимента на основе больших объемов данных и др. [1, 6].

Несмотря на мультидисциплинарность подходов, используемых описанными продуктами, глобальным недостатком является отсутствие возможности формализации имеющейся математической модели. Исходя из этого, разработка цифрового инструмента, повышающего эффективность обеззараживания жидкой фракции навоза, является актуальной задачей.

Цель исследования – получение математической модели энергоёмкости обеззараживания свиного бесподстилочного навоза механическими колебаниями на частоте ультразвука и её цифровая формализация.

Материалы и методы исследования

Методическая и материальная база данного исследования состоит из двух блоков: первый – проведение экспериментального исследования и математическая формализация результата, второй – цифровая формализация полученной математической модели. Объектом экспериментальных исследований выступал свежий свиной бесподстилочный навоз влажностью 90 %. Для реализации воздействия механических колебаний на частоте ультразвука и исследования соответствующих кавитационных эффектов использовалась ультразвуковая ванна «Сапфир», создающая воздействие на частоте 35 кГц мощностью 200 Вт.

Ввиду ограниченности ресурсов и сложности проводимых экспериментальных исследований было принято решение использовать математическую теорию планирования эксперимента. Целью экспериментальных исследований являлась формализация влияния выбранных факторов, их уровней варьирования на удельную энергоёмкость обеззараживания.

С целью удовлетворения поставленных условий был выбран трехфакторный центральный композиционный план Бокса-Бенкена со «звёздными точками». Факторы, уров-

ни варьирования и их «звёздные точки» представлены в табл. 1. Уровни варьирования факторов приняты на основании анализа априорной информации, а также результатов предварительных исследований [9-12].

Таблица 1. Факторы, уровни варьирования и их «звёздные точки»

Варьируемые факторы	Диапазон варьирования			Обозначение		Звёздные точки	
	-1	0	+1	натуральное	кодированное	Δx_i	Δx_i нат.
Продолжительность экспозиции, мин	5	10	15	$t_{эк}$	X_1	5	7,07
Температура среды в рабочей камере, °C	20	40	60	t	X_2	20	28,28
Концентрация пероксида водорода, мг/л	10	20	30	ω	X_3	10	14,14
<i>Параметры качества</i>							
Удельная энергоёмкость, кВт·ч/м³				N			

Матрица плана эксперимента в кодированных и натуральных переменных с зафиксированными откликами представлена в табл. 2.

Таблица 2. Матрица планирования в кодированных и натуральных переменных

№	Кодированные				Натуральные			Отклик
	X_0	X_1	X_2	X_3	$t_{эк}$	t	ω	
1	1	-1	-1	-1	5	20	10	1,99
2	1	-1	-1	1	5	20	30	1,90
3	1	-1	1	-1	5	60	10	1,85
4	1	-1	1	1	5	60	30	1,90
5	1	1	-1	-1	15	20	10	3,50
6	1	1	-1	1	15	20	30	3,51
7	1	1	1	-1	15	60	10	3,52
8	1	1	1	1	15	60	30	3,50
9	1	-1,41	0	0	2,93	40	20	1,65
10	1	1,41	0	0	17,07	40	20	3,90
11	1	0	-1,41	0	10	11,72	20	2,30
12	1	0	1,41	0	10	68,28	20	2,20
13	1	0	0	-1,41	10	20	5,86	2,21
14	1	0	0	1,41	10	20	34,14	1,82
15	1	0	0	0	10	20	10	2,60
16	1	0	0	0	10	20	10	2,00

Для цифровой формализации полученной в ходе экспериментальных исследований математической модели использовался язык программирования Python с прикладными библиотеками Pandas и Matplotlib, обладающими мощным инструментарием в области обработки данных и их визуализации.

Оценка достоверности между экспериментальными и расчётными значениями осуществлялась по следующей зависимости:

$$\Delta_{y\bar{y}} = \frac{\hat{N}_{y\bar{y}}^{pц} - \bar{N}_{y\bar{y}}^{экс}}{\bar{N}_{y\bar{y}}^{од}} \cdot 100, \quad (1)$$

где $\hat{N}_{y\bar{y}}^{pц}$ – удельная энергоёмкость обеззараживания, полученная расчётным путём в созданном цифровом инструменте, кВт·ч/м³;

$\bar{N}_{y\bar{y}}^{экс}$ – удельная энергоёмкость обеззараживания, полученная путём эксперимента, кВт·ч/м³;

$\bar{N}_{y\bar{y}}^{од}$ – среднее значение удельной энергоёмкости обеззараживания при проведении параллельных опытов оценки достоверности между расчётным и экспериментальными значениями, кВт·ч/м³.

Подробно методика оценки достоверности данных, используемая в данном исследовании, изложена в работе [13].

Результаты исследований и обсуждение

После проведения экспериментальных исследований, расчётов оценок коэффициентов факторов была получена математическая модель в форме квадратичного полинома. Влияние рассмотренных факторов на удельную энергоёмкость интенсификации обеззараживания механическими колебаниями на частоте ультразвука в сочетании с пероксидом формализуется моделью, кВт·ч/м³:

$$N = 3,52 + 3,70 \cdot t_{эк}^2 + 3,12 \cdot t^2 + 2,97 \cdot \omega_3^2. \quad (2)$$

В табл. 3 представлены результаты дисперсионного анализа математической модели (2) со значениями дисперсии воспроизводимости, среднеквадратического отклонения и критерия Стьюдента по коэффициентам модели.

Анализ данных, представленных в табл. 3, позволил установить, что наиболее значимыми факторами, оказывающими влияние на удельную энергоёмкость интенсификации обеззараживания механическими колебаниями на частоте ультразвука в сочетании с пероксидом, являются квадратичные значения продолжительности экспозиции, температуры среды в рабочей камере и концентрации пероксида водорода. Исходя из этого, математическая модель (2) представлена после исключения функций статистически незначимых переменных.

Следующим этапом оценки достоверности являлась проверка модели (2) в соответствии с критерием Фишера, результаты которой представлены в табл. 4.

Таблица 3. Результаты дисперсионного анализа модели

№	Дисперсия воспроизводимости по коэффициентам		Средние квадратические отклонения по коэффициентам		Значение критерия Стьюдента по коэффициентам	
1	S_{b0}^2	0,255625104	S_{b0}	0,50559371	t_{b0}	6,962111924
2	S_{b1}^2	0,340833333	S_{b1}	0,58380933	t_{b1}	1,366310887
3	S_{b2}^2	0,340833333	S_{b2}	0,58380933	t_{b2}	0,038742866
4	S_{b3}^2	0,340833333	S_{b3}	0,58380933	t_{b3}	0,087883348

Таблица 4. Результаты оценки статистической значимости модели по критерию Фишера

№	Отклик y	Расчетный отклик y_i	Дисперсия адекватности $S_{ад}^2$	Расчетное значение критерия Фишера, F_p	Критическое значение критерия Фишера, $F_{кр}$
1	1,99	12,63213	105,10977	25,69921	243,90604
2	1,90	12,49452			
3	1,85	12,52189			
4	1,90	12,43928			
5	3,50	14,18246			
6	3,51	14,05985			
7	3,52	14,14722			
8	3,50	14,07961			
9	1,65	9,79972			
10	3,90	12,05586			
11	2,30	9,80006			
12	2,20	9,73609			
13	2,20	9,53593			
14	1,80	9,39081			
15	2,60	3,52000			
16	2,00	3,52000			

Анализ результатов, представленных в табл. 4, позволил сделать вывод, что математическая модель (2) адекватно формализует влияние выбранных факторов на удельную энергоёмкость интенсификации обеззараживания механическими колебаниями на частоте ультразвука в сочетании с пероксидом водорода, так как расчётное значение критерия Фишера меньше критического.

После достоверной формализации влияния выбранных факторов на удельную энергоёмкость на языке программирования Python с использованием библиотек Matplotlib и Tkinter был создан цифровой инструмент, позволяющий моделировать поведение температуры среды в рабочей зоне и продолжительности экспозиции. На рис. 1 представлен интерфейс созданного цифрового инструмента.

После разработки расчётной и визуальной частей программного продукта были проведены численные эксперименты, необходимые для последующей оценки достоверности цифрового инструмента. На рис. 2 и 3 представлены зависимости удельной энергоёмкости обеззараживания от продолжительности экспозиции и температуры среды в рабочей камере ультразвуковой ванны.

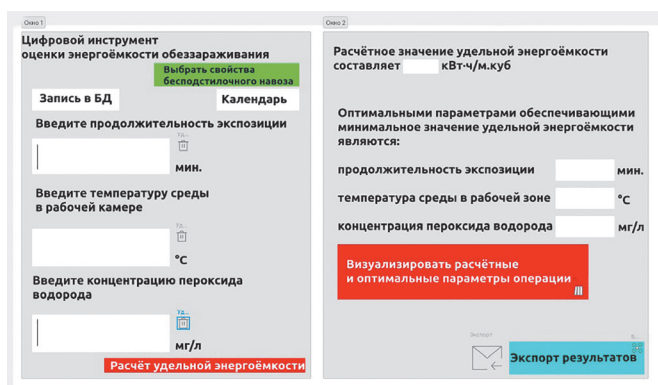


Рис. 1. Интерфейс созданного цифрового инструмента

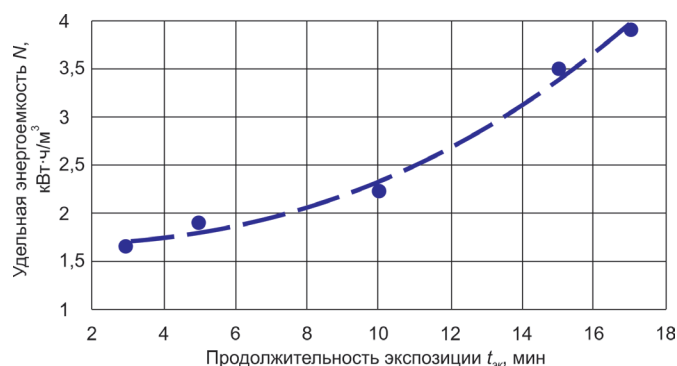


Рис. 2. Зависимость удельной энергоёмкости обеззараживания от продолжительности экспозиции

Анализ зависимости (см. рис. 2) показал, что удельная энергоёмкость обеззараживания прямо пропорциональна продолжительности экспозиции, тогда влияние температуры среды в рабочей зоне (см. рис. 3 и уравнение (2)) является нелинейной характеристикой. Максимальные значения удельной энергоёмкости наблюдаются в диапазоне температур 40-60 °С. Ввиду нелинейности влияния данного фактора созданным цифровым инструментом предусмотрена возможность визуализации этого влияния на отклик с программным определением области наиболее рациональных параметров, обеспечивающих минимальное значение отклика.

На рис. 4 представлена поверхность отклика, демонстрирующая зависимость удельной энергоёмкости обеззараживания от продолжительности экспозиции и температуры в рабочей камере.

Анализ поверхности отклика позволил определить рекомендуемую область сочетания факторов продолжительности экспозиции и температуры среды в рабочей камере, обеспечивающие минимальные значения удельной энергоёмкости: диапазон для $t_{эк} = 30-60$ мин, $t = 5-12^{\circ}\text{C}$. Диапазоны носят рекомендательный характер и требуют проведения дополнительных исследований для комплексной оценки эффективности обеззараживания не только с точки зрения энергетической эффективности, но и с учётом предъявляемых санитарно-эпидемиологических требований.

Завершающим этапом исследования стала оценка достоверности результатов, выдаваемых созданным цифровым инструментом. Методика оценки достоверности подробно изложена в работах [11, 13], расчёты, выполненные согласно формуле (1), показали, что максимальное отклонение $\Delta_{y,э}$ между расчётными цифровым инструментом и полученными экспериментально значениями составила 3 % при выбранном уровне значимости $\alpha = 0,05$.

Выводы

1. Получена математическая модель в виде полинома второго порядка, позволяющая оценить влияние продолжительности экспозиции, температуры среды в рабочей зоне и концентрации гипохлорита натрия на удельную энергоёмкость обеззараживания бесподстилочного на-

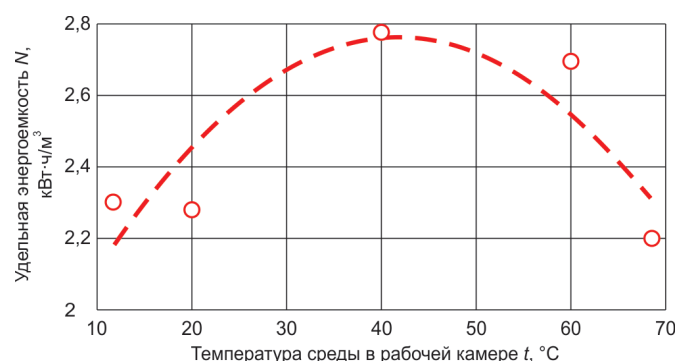


Рис. 3. Зависимость удельной энергоёмкости обеззараживания от температуры среды в рабочей камере

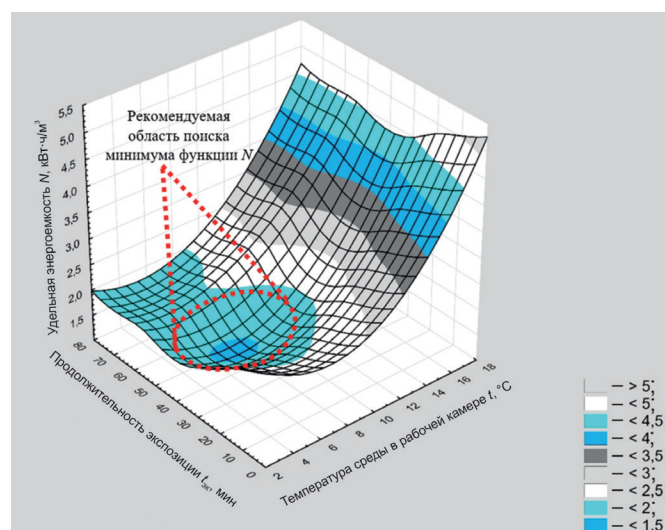


Рис. 4. Поверхность отклика, демонстрирующая зависимость удельной энергоёмкости обеззараживания от продолжительности экспозиции и температуры в рабочей камере

воза механическими колебаниями на частоте ультразвука 35 кГц мощностью 200 Вт.

2. Используя открытую библиотеку Matplotlib языка программирования Python, создан цифровой инструмент,

позволяющий прогнозировать удельные энергетические затраты при обеззараживании бесподстильного навоза механическими колебаниями на частоте ультразвука 35 кГц мощностью 200 Вт. Функциональными особенностями цифрового инструмента являются база данных, модуль визуализации данных, кроссплатформенность инструмента с возможностью экспорта данных в docx, xlsx, jpeg, pdf.

3. Сравнение данных, полученных экспериментально, с рассчитанными значениями в созданном программном продукте показало достоверность свыше 97%.

4. Благодаря используемой архитектуре построения созданный цифровой инструмент имеет высокую степень интеграции в функционал более высокоуровневых программных решений.

Список использованных источников

1. Российский экологический оператор. Реестр решений: официальный сайт. URL: <https://it.reo.ru/solutions/> (дата обращения: 08.05.2024).
2. Комарова Е.В. Современные проблемы применения отходов животноводства в качестве удобрения: анализ правового поля / Е.В. Комарова, А.В. Слабунова // Экология и водное хоз-во. 2021. Т. 3. № 4. С. 27-45. DOI 10.31774/2658-7890-2021-3-4-27-45.
3. Уколов А.И. Влияние гидрокавитационной обработки балластной морской воды на устойчивость микроорганизмов / А.И. Уколов, С.В. Малько, А.Д. Семенова // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. 2023. № 2. С. 137-146. DOI 10.26296/2619-0605.2023.2.2.013.
4. Комарова Е.В. Экологически безопасные технологии подготовки животноводческих стоков / Е.В. Комарова, М.А. Ляшков // Экология и водное хоз-во. 2021. Т. 3. № 3. С. 72-88. DOI 10.31774/2658-7890-2021-3-3-72-88.
5. Баширов В.Д. Особенности процесса утилизации навоза и помета сельскохозяйственных животных с получением органоминерального удобрения / В.Д. Баширов, А.В. Московец, Р.Ф. Сагитов // БИО. 2019. № 4 (223). С. 24-28.
6. Брюханов А.Ю. Инструмент для мониторинга экологического состояния и устойчивого развития сельскохозяйственного производства / А.Ю. Брюханов [и др.] // Техника и технологии в животноводстве. 2023. № 1 (49). С. 78-84.
7. Гашин О. Р. Комплексное воздействие гидродинамической кавитации, пероксида водорода и ионов серебра на микроорганизмы *Escherichia coli* / О.Р. Гашин, Т.Н. Витенько // Химия и технология воды. 2011. № 4. С. 451-461.
8. Гурьянов Д.В. Обеззараживание куриного помета ультразвуковым облучением / Д.В. Гурьянов [и др.] // Аграрный научный журнал. 2019. № 2. С. 78-81.
9. Дрововозова Т.И. Исследование бактерицидной активности пероксида водорода в сточных водах / Т.И. Дрововозова, Н.Н. Паненко, Е.С. Кулакова // Междунар. науч.-исследовательский журнал. 2016. №. 7-4 (49). С. 18-21.
10. Сиволобова Н.О. Интенсификация процесса обеззараживания с использованием пероксида водорода / Н.О. Сиволобова, В.Е. Коротыцкая // Актуальные аспекты развития науки и общества в эпоху цифровой трансформации : сб. матер. VII Междунар. науч.-практ. конф. М., 2023. С. 117-121.
11. Контаминация индикаторов оценки санитарно-эпидемиологических свойств свиного бесподстильного навоза и навозных стоков / А.В. Шемякин, Н.В. Лимаренко, И.А. Юхин [и др.] // Вестник Рязанского ГАТУ им. П.А. Костычева. 2023. Т. 15. № 4. С. 173-180. DOI 10.36508/RSATU.2023.96.45.024.
12. Цифровой инструмент седиментационного анализа свиного бесподстильного навоза / Н.В. Лимаренко, А.В. Шемякин, С.Н. Борячев [и др.] // Техника и оборудование для села. 2023. № 10 (316). С. 26-30. DOI 10.33267/2072-9642-2023-10-26-30.
13. Экспериментальная оценка достоверности оптимальных параметров активатора обеззараживания жидких отходов животноводства / Н.В. Бышов, И.А. Успенский, И.А. Юхин, Н.В. Лимаренко // Техника и оборудование для села. 2019. № 8(266). С. 28-31. DOI 10.33267/2072-9642-2019-8-28-31.

Digital Tools for Increasing the Efficiency of Experimental Studies of the Energy Density of Disinfection of Pig Manure Without Bedding Using Mechanical Ultrasound Frequency Vibrations

N.V. Limarenko

(Donskoy State Technical University)

A.V. Shemyakin, I.A. Uspensky, I.A. Yukhin, S.V. Mitrokhin

(Ryazan State Agrarian Technical University named after P.A. Kostychev)

Summary. The article describes the development stages of the digital tool that increases the efficiency of operational actions in the process of disinfection of pig manure without bedding using mechanical ultrasound frequency vibrations. The developed digital tool makes it possible to predict the influence of the temperature of the working chamber environment and the duration of exposure on the energy density. The difference between the results of the experimental studies and the results obtained by calculation using the digital tool did not exceed 3%. The prospects of using the Python programming language with the application libraries Matplotlib and Tkinter for solving problems of this level are substantiated.

Key words: pig manure without bedding, disinfection, assessment, energy density of disinfection, digital tools.

Реферат

Цель исследования – получение математической модели энергоёмкости обеззараживания свиного бесподстильного навоза механическими колебаниями на частоте ультразвука и её цифровая формализация. Описаны этапы создания цифрового инструмента, повышающего эффективность операционных воздействий, на примере обеззараживания свиного бесподстильного навоза механическими колебаниями на частоте ультразвука. Разработанный цифровой инструмент позволяет прогнозировать влияние температуры среды в рабочей камере и продолжительности экспозиции на удельную энергоёмкость. Оценка достоверности результатов экспериментальных исследований по сравнению с результатами, полученными расчётным путём с использованием созданного цифрового инструмента, показала отклонение, не превышающее 3%. Обоснована перспективность использования языка программирования Python с прикладными библиотеками Matplotlib и Tkinter для решения задач подобного уровня. Получена математическая модель в виде полинома второго порядка, позволяющая оценить влияние продолжительности экспозиции, температуры среды в

рабочей зоне и концентрации гипохлорита натрия на удельную энергоёмкость обеззараживания бесподстильного навоза механическими колебаниями. Используя открытую библиотеку Matplotlib языка программирования Python, создан цифровой инструмент, позволяющий прогнозировать удельные энергетические затраты при обеззараживании бесподстильного навоза механическими колебаниями на частоте ультразвука 35 кГц мощностью 200 Вт. Функциональными особенностями цифрового инструмента является база данных, модуль визуализации данных, кроссплатформенность инструмента с возможностью экспорта данных в docx, xlsx, jpeg, pdf. Сравнение данных, полученных экспериментально, с рассчитанными значениями в созданном программном продукте показало достоверность свыше 97%. Благодаря используемой архитектуре построения созданный цифровой инструмент имеет высокую степень интеграции в функционал более высокоуровневых программных решений.

Abstract

The purpose of the study is to obtain a mathematical model of the energy density of disinfection of pig manure without bedding by mechanical ultrasound frequency vibrations and to perform its digital formalization. The article describes the development stages of the digital tool that increases the efficiency of operational actions in the process of disinfection of pig manure without bedding using mechanical ultrasound frequency vibrations. The developed digital tool makes it possible to predict the influence of the temperature of the working chamber environment and the duration of exposure on the energy density. The difference between the results of the experimental studies and the results obtained by calculation using the digital tool did not exceed 3%. The long-term benefits of using the Python programming language with the libraries Matplotlib and Tkinter for solving problems of this level are substantiated. The mathematical model in the form of a second-order polynomial has been obtained, which allows us to evaluate the influence of exposure duration, environmental temperature in the working area and the sodium hypochlorite concentration on the energy density of disinfection of bedding-free manure by mechanical vibrations. Using the open library Matplotlib of the Python programming language the digital tool has been created that makes it possible to predict normalized energy consumption during the disinfection of bedding-free manure by mechanical vibrations at the ultrasonic frequency of 35 kHz with a power of 200 W. The functional characteristics of the digital tool are a database, a data visualization module, cross-platform feature with the ability to export data to docx, xlsx, jpeg, pdf. Comparison of the data obtained experimentally with the calculated values in the created software product showed the reliability of over 97%. Thanks to the architecture used the created digital tool has a high degree of integration into the functionality of higher-level software solutions.



ПРАВИТЕЛЬСТВО
БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

12-13 июля

Брянская область,
Выгоничский район, с. Кокино,
БГАУ



pole32.ru

6+
реклама

ОПЕРАТОР:

Выставочная фирма
Центр
Тел: 47(473) 233-09-60
E-mail: pole@vfcenr.ru



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР

РОССЕЛЬМАШ

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ СПОНСОР

TRADING CENTR
ТЕХНИКА ЗАПЧАСТЫ СЕРВИС

ОФИЦИАЛЬНЫЙ СПОНСОР

БРЯНСКЕЛЬМАШ

ПАРТНЕРЫ ВЫСТАВКИ

CXT

ATLANT

TECHNODOM

ОФИЦИАЛЬНЫЙ
ПОСТАВЩИК КОРМОВ

ФОСАГРО

УДК 637.115:637.11

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-6-29-32

Магнитостатический расчет левитирующей вращающейся доильной платформы Карусель на постоянных магнитах

В.В. Кирсанов,
чл.-корр. РАН, д-р техн. наук,
проф., зав. отделом,
kirvv2014@mail.ru

В.Ф. Федоренко,
акад. РАН, д-р техн. наук,
проф., гл. науч. сотр.,
f@maro.pro

С.В. Кирсанов,
sergejkirsanov@gmail.com
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Аннотация. Обоснована технологическая схема левитирующей доильной платформы Карусель на постоянных магнитах и выполнен ее магнитостатический расчет с использованием горизонтальных магнитных сборок, исключающих применение традиционных контактных двигателей типа «рельс-колесо», что обеспечит практически неограниченный ресурс платформы.

Ключевые слова: животноводческий комплекс, доильная платформа Карусель, магнитная левитация, постоянные магниты, силы отталкивания, магнитостатика, колесные двигатели.

Постановка проблемы

Производство молока в России составляет около 33,5 млн т, порядка 40% его производится на крупных животноводческих комплексах (1200 голов и более), на которых используется в основном импортное доильное оборудование фирм DeLaval (Швеция), GEA Farm Technologies (Германия), Milkline (Италия) и др. Наиболее предпочтительным вариантом оснащения доильных залов на крупных фермах является использование доильных установок роторного типа Карусель вместимостью 30-100 доильных мест [1].

В России подобное оборудование не выпускается. В Беларуси планируют приступить к выпуску доильных установок Карусель с импортными комплектующими (доильная аппаратура, электроника, система управления стадом и др.). Несмотря на значительные капиталовложения, технология доения в роторных залах является наиболее производительной, что позволяет обслуживать большое поголовье животных (2500-3000 голов и более), работая в непрерывном режиме практически круглые сутки.

Для эффективного использования доильных залов Карусель необходим комплекс трудоемких подготовительных и строительных работ. Вращающаяся доильная



Рис. 1. Вид на опорные (а) и боковые (б) направляющие колеса доильной Карусели

платформа является наиболее капиталоемким и ответственным узлом, несущим на себе значительную механическую нагрузку в виде собственной большой массы и массы транспортируемых животных. Для снижения шума в качестве двигателей платформы используют, как правило, опорные нейлоновые и боковые направляющие колеса, катящиеся по изогнутым профилям двутавровых балок [2] (рис 1).

Вращательное движение придают электроприводы с редукторами и фрикционными передачами [3]. Круглосуточный режим работы определяет значительный расход электроэнергии, повышенный износ приводных, опорных и направляющих колес платформы и, как следствие, потребность в частых квалифицированных технических обслуживаниях и ремонте доильной платформы. При некачественном монтаже и сборке возможны нарушения радиуса кривизны изогнутых балок, что в последующем создает проблемы для колесных двигателей и повышает нагрузку на электропривод [4].

В качестве альтернативного инновационного решения предлагается создание новой конструкции доильной платформы на магнитном подвесе. Практическое отсутствие силы трения на перемещение доильной платформы с животными потребует значительно меньшей мощности привода, обеспечит бесшумность передвижения и существенно меньшие эксплуатационные затраты, связанные с износом и заменой колес и рельсов, смазыванием подшипников, обслуживанием 2-3 тяговых электроприводов и др.

Цель исследований – провести магнитостатический расчет левитирующей вращающейся доильной платформы Карусель на постоянных магнитах.

Материалы и методы исследования

Методологической основой исследований послужили работы по исследованию и разработке грузовой левитирующей платформы для перевозки контейнеров [5-7], расчету сил в системах магнитного подвеса при создании высокоскоростных транспортных средств. В патенте [8] предлагается магнитолевитационное транспортное средство с диагональным угловым расположением магнитных сборок, которые обеспечивают одновременно вертикальную левитацию и боковую стабилизацию транспортного средства (рис. 2).

Первая магнитная система 3 располагается на путевой структуре 2 и состоит из двух жестко соединенных аксиально намагниченных магнитов с диагональным расположением полюсов. Вторая магнитная система 4 расположена на опорной платформе 5 транспортного средства и выполнена в виде двух жестко соединенных сборок магнитов. Каждая сборка второй магнитной системы состоит из трех аксиально намагниченных магнитов – двух боковых с нормальным расположением полюсов и одного центрального магнита с диагональным расположением полюсов.

Центральные магниты второй магнитной системы с диагональным расположением полюсов обращены к магнитам первой магнитной системы одноименными с ними полюсами. Достигается новый принцип конфигурирования магнитных полей требуемой формы, обеспечивающий левитацию и боковую стабилизацию транспортного средства.

Предложено устройство магнитной левитации на постоянных магнитах, содержащее транспортный путь с постоянными магнитами, намагниченными аксиально и установленными плотно друг к другу вдоль пути на всём его протяжении для взаимодействия с подвижными постоянными магнитами, вмонтированными в оболочку из цветного металла и установленными на транспортном средстве [9]. В результате достигается магнитная левитация в статике и на высокой скорости за счет дополнительной индукционной левитации.

Эти и другие работы [10] послужили основой для разработки инновационной доильной платформы Карусель на принципах магнитной левитации, исключаяющей контактную движительную систему «рельс-колесо».

Результаты исследований и обсуждение

В результате проведенного анализа была предложена принципиальная новая схема левитирующей вращающейся кольцевой доильной платформы на постоянных магнитах, представленная на рис. 3, и выполнен ее магнитостатический расчет.

Для решения прямой задачи магнитостатики необходимо в горизонтальных магнитных сборках рассчитать характеристики магнитного поля и определить необходимую подъемную силу для подвеса вращающейся доильной платформы. Для этого рассмотрим элемент горизонтальной магнитной сборки в виде плоской

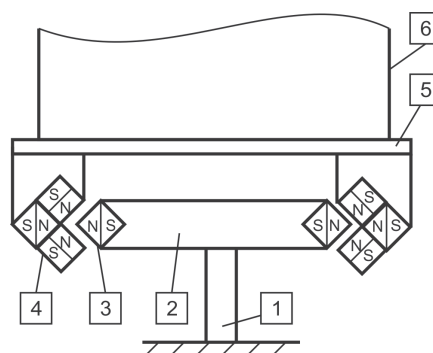


Рис. 2. Магнитолевитационное транспортное средство с диагональным угловым расположением магнитных сборок

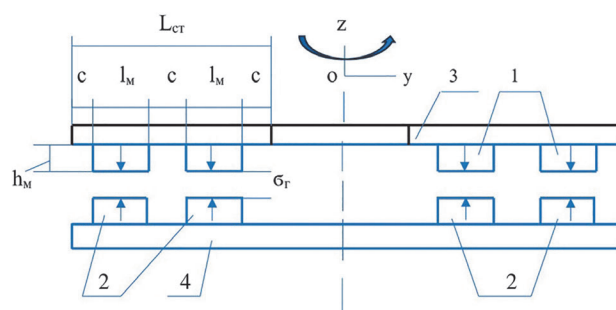


Рис. 3. Фрагмент магнитного подвеса вращающейся кольцевой платформы:

- 1 – подвижные постоянные магниты;
- 2 – неподвижные постоянные магниты;
- 3 – вращающееся не ферромагнитное основание кольцевой доильной платформы;
- 4 – неподвижное не ферромагнитное основание

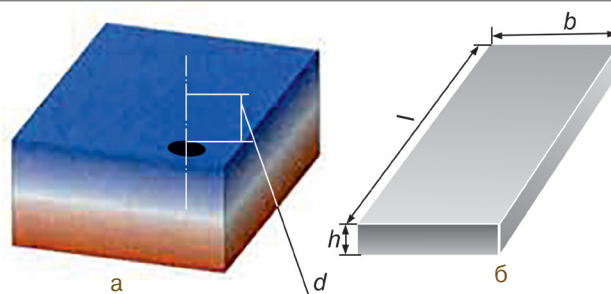


Рис. 4. Общий вид (а) и геометрические параметры (h, b, l) аксиально намагниченной плоской призмы (б)

аксиально намагниченной призмы и произведем расчет его магнитного поля (рис. 4).

На расстоянии d от поверхности постоянного плоского магнита магнитная индукция (B) с небольшим допущением может быть определена в соответствии с выражением [11]

$$B = \frac{Br}{\pi} = \left[\tan^{-1} \left(\frac{d+h}{b \cdot l} \sqrt{\left(\frac{b}{2} \right)^2 + \left(\frac{l}{2} \right)^2 + (d+h)^2} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{d}{b \cdot l} \sqrt{\left(\frac{b}{2} \right)^2 + \left(\frac{l}{2} \right)^2 + d^2} \right) \right], \quad (1)$$

где Br – остаточная индукция магнита, Тл.

Тогда суммарная индукция согласно закону суперпозиции магнитных полей между двумя такими призмами

на расстоянии (d) определяется по формуле $B_{\Sigma} = B_1 + B_2$, где B_2 – индукция от второй призмы на расстоянии ($g-d$).

В нашем случае $g = \sigma_r$ – левитационный зазор между горизонтальными магнитными сборками 1 и 2 (см. рис. 3). Полагая с небольшим допущением, что $d = \sigma_r/2$ и подставляя данное выражение в формулу (1), а также, что $B_1 = B_2$, запишем суммарное значение магнитной индукции элементарной магнитной сборки в левитационном зазоре

$$B_{\Sigma} = 2 \frac{Br}{\pi} \left[\tan^{-1} \left(\frac{\frac{\sigma_r}{2} + h}{b \cdot l} \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_r}{2} + h\right)^2} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{\frac{\sigma_r}{2}}{b \cdot l} \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2 + \frac{\sigma_r^2}{4}} \right) \right]. \quad (2)$$

По длине стойла $l_{\text{ст}}$, где располагается животное, число таких элементарных призм в виде магнитных путевых дорожек по всему периметру платформы может быть определено в соответствии с рекомендациями [12]. Подвижные и неподвижные постоянные магниты (далее – ПМ) 1 и 2 (см. рис. 3) жестко связаны с соответствующими не ферромагнитными подвижным и неподвижным основаниями 3 и 4 платформы с образованием от 1 до n магнитных кольцевых путевых дорожек.

Стрелками показаны векторы намагниченности ПМ встречного направления с образованием сил отталкивания, создающих магнитный подвес платформы в вертикальной плоскости. В данном варианте число путевых магнитных дорожек определяется величиной магнитной индукции и создаваемой ими подъемной силой, достаточной для левитации собственного веса платформы с установленными на ней магнитами и перемещаемым грузом в виде животных. ПМ устанавливаются с определенным шагом c по длине стойла $L_{\text{ст}}$. В общем виде это можно записать:

$$L_{\text{ст}} = (c + l) n + c, \quad (3)$$

где l – длина магнита, м; c – шаг установки магнитов в направлении оси y , м; n – число путевых магнитных дорожек.

Для конкретной сборки с двумя магнитными дорожками, установленными сверху и снизу вдоль всего периметра платформы (см. рис. 3), выражение (3) будет иметь вид

$$L_{\text{ст}} = 2(c + l) + c. \quad (4)$$

Для расчета вертикальной силы отталкивания F_{1-2} , создаваемой каждой парой противоположащих магнитов, воспользуемся известным выражением [13]

$$F = \frac{\mu_0 H^2 A}{2} = \frac{B^2 A}{2\mu_0}, \quad (5)$$

где A – площадь каждой поверхности ($l \cdot b$, м²); H – напряженность магнитного поля, А/м; μ_0 – магнитная постоянная, $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; B – магнитная индукция, Тл.

Учитывая, что с каждой стороны на одно доильное место по длине стойла устанавливаются две пары магнитов, получим:

$$F_{\Sigma \text{ МГ1-2}}^{\Sigma} = \frac{2B^2 2l \cdot b}{2\mu_0} = \frac{2B^2 l \cdot b}{\mu_0}. \quad (6)$$

Подставим в выражение значение B_{Σ} из формулы (2), получим:

$$F_{\Sigma \text{ МГ1-2}}^{\Sigma} = \frac{8 \frac{Br^2}{\pi^2} \left[\tan^{-1} \left(\frac{\frac{\sigma_r}{2} + h}{b \cdot l} \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_r}{2} + h\right)^2} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{\frac{\sigma_r}{2}}{b \cdot l} \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2 + \frac{\sigma_r^2}{4}} \right) \right]^2 (l \cdot b)}{\mu_0}. \quad (7)$$

С учетом удельной массы платформы, приходящейся на одно доильное место $m_{\text{пл1}}g$, массы коровы $m_{\text{к}}g$ и массы подвижных магнитов $2m_{\text{м}}g$ запишем

$$m_{\text{пл1}}g + m_{\text{к}}g + 2m_{\text{м}}g = F_{\Sigma \text{ МГ1-2}}^{\Sigma}. \quad (8)$$

Приравняв правые части выражений (8) и (7), получим:

$$\begin{aligned} & m_{\text{пл1}}g + m_{\text{к}}g + 2m_{\text{м}}g = \\ & = \frac{8 \frac{Br^2}{\pi^2} \left[\tan^{-1} \left(\frac{\frac{\sigma_r}{2} + h}{b \cdot l} \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_r}{2} + h\right)^2} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{\frac{\sigma_r}{2}}{b \cdot l} \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2 + \frac{\sigma_r^2}{4}} \right) \right]^2 (l \cdot b)}{\mu_0}. \end{aligned} \quad (9)$$

Данное выражение является основным уравнением левитации доильной платформы, представленной в соответствии с расчетной схемой (см. рис. 3). Зная массы платформы и животного в расчёте на одно доильное место (≈ 1200 кг) и магнитов, задавая их размерами, можно вычислить величину магнитного поля в левитационном зазоре, а на основе обратной задачи магнитостатики – выполнить проверочный расчет и определить развиваемую магнитными сборками подъемную силу. Проведя несколько итераций, можно точно определить необходимые характеристики магнитов и создаваемого ими магнитного поля для левитации доильной платформы.

Решение данного уравнения также возможно с помощью численных методов, используемых в магнитостатике для решения прямых и обратных задач. Поскольку данная система является неустойчивой от боковых смещений в соответствии с теоремой Ирншоу [14], необходимо рассмотреть выполнение соответствующих условий для ее боковой стабилизации. Значение боковых сил можно определить в соответствии с рекомендациями [6]. В нашем случае выражение для боковой дестабилизирующей силы запишется как

$$F_y = \frac{\mu_0 J^2}{2\pi} \left\{ 2\sigma_r \cdot \arctg \frac{c + l_m}{\sigma_r} - 2c \cdot \arctg \frac{c}{\sigma_r} + \arctg \frac{c - l_m}{\sigma_r} + (c + l_m) \cdot \ln[(c + l_m)^2 + \sigma_r^2] - \right. \\ \left. - 2c \cdot \ln(c^2 + \sigma_r^2) + (c - l_m) \cdot \ln[(c - l_m)^2 + \sigma_r^2] \right\}. \quad (10)$$

Дестабилизирующая боковая сила F_y , возникающая вследствие возможного бокового смещения платформы, будет компенсирована боковыми магнитными сборками (на рис. 3 условно не показаны).

Проведенный расчет силовых магнитных полей для левитации и боковой стабилизации вращающейся кольцевой доильной платформы Карусель на постоянных магнитах позволяет разработать инновационную конструкцию вращающейся доильной платформы на принципах магнитной левитации без применения колесной системы типа «рельс-колесо».

На основе предложенной концепции возможно существенное сокращение затрат на техническое обслуживание и ремонт доильной установки Карусель за счет ликвидации системы движителей типа «рельс-колесо» и применения системы магнитного подвеса.

Выводы

1. На основе анализа транспортных систем с магнитным подвесом предложена принципиально новая технологическая схема левитирующей вращающейся доильной платформы Карусель на постоянных магнитах.

2. Проведен магнитостатический расчет технологической схемы левитирующей доильной платформы Карусель с использованием горизонтальных магнитных сборок, исключающих применение традиционных кон-

тактных движителей типа «рельс-колесо», что обеспечит практически неограниченный ресурс платформы.

Список используемых источников

1. Морозов Н.М., Кирсанов В.В., Ценч Ю.С. Историко-аналитическая оценка развития процессов автоматизации и роботизации в молочном животноводстве // С.-х. машины и технологии. 2023. Т. 17. № 1. С. 11-18.
2. Патент № 2551565, С2 Российская Федерация. МПК А01К 1/12 (2006.01) А01J 5/00 (2006.01). Вращающаяся доильная станция, комплект для ее монтажа и способы ее монтажа и эксплуатации : заявл. 31.01.2011 : опубл. 04.08.2011 : бюл. №15 / Куртеманш А.
3. Кузьмина Т.Н., Мишуров Н.П., Федоренко В.Ф., Гольяпин В.Я. и др. Сельскохозяйственная техника. Машины и оборудование для животноводства: кат. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. 172 с.
4. Ерохин М.Н., Кирсанов В.В., Цой Ю.А., Казанцев С.П. Структурно-технологическое моделирование процессов и функциональных систем в молочном скотоводстве // Науч. труды ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии. 2007. Т. 17. № 1. С. 19-31.
5. Зайцев А.А. Грузовая транспортная платформа на магнитно-левитационной основе: опыт создания // Транспортные системы и технологии. Вып. 2, 2015. С. 5-15.
6. Фришман Е.М., Усманов М.И. Сравнительный анализ вертикальных и горизонтальных статических сил взаимодействия пути и экипажа с магнитным подвешиванием / <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 30.03.2024).
7. Пятаков М.А., Поляков П.А., Русакова Н.Е. Изучение взаимодействия ферромагнетиков и расчет меры этого взаимодействия // Известия РАН. Серия физическая. 2020. Т. 84, № 5. С. 719-722.
8. Патент № 2724030 С1 Российская Федерация. МПК В60Л 13/04 (2006.01) В61В 13/08 (2006.01). Магнитолевитационное транспортное средство : заявка 2019125403, 09.08.2019 : опубл. 18.06.2020, бюл. № 17 / Зименкова Т.С., Казначеев С.А., Краснов А.С.
9. Патент № 2743104 С1 Российская Федерация. МПК В60Л 13/04 (2006.01) В61В 13/08 (2006.01). Устройство магнитной левитации на постоянных магнитах : заявка 2020106525, 12.02.2020 : опубл. 15.02.2021, бюл. № 5 / Брюханов С.А.
10. Киселенко А.Н., Сундуков Е.Ю., Тарабукина Н.А. Методы прогнозирования развития транспортных систем в современных условиях // Мир транспорта. Т. 20. № 3. 2022. С. 40-49.
11. Постоянные магниты на основе редкоземельных элементов // С(А)М [Электронный ресурс]. narod.ru (дата обращения: 30.03.2024).
12. Вагин Д.В., Герасименко Т.Н., Поляков П.А. Точное аналитическое выражение для индукции магнитного поля образца прямоугольной формы // Вестник Московского университета. Сер. 3: Физика. Астрономия. 2008. № 6. С. 54-56.
13. Кабанов О.А., Герасименко Т.Н., Поляков П.А. Магнитное поле реального постоянного магнита в форме прямоугольного параллелепипеда // Электромагнитное поле и материалы (фундаментальные физические исследования) : матер. XXI Междунар. конф. М.: о МЭИ. 2013. С. 324-331.
14. Антонов Ю.Ф., Зайцев А.А. Магнитолевитационная транспортная технология. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. 476 с.

Magnetostatic Calculation of a Levitating Rotating Merry-go-round Milking Platform on Permanent Magnets

V.V. Kirsanov, V.F. Fedorenko, S.V. Kirsanov
(FGBNU FNATS VIM)

Summary. The process flow diagram of the levitating merry-go-round milking platform on permanent magnets has been substantiated and its magnetostatic calculation has been performed using horizontal magnetic assemblies without the traditional contact mover of the "rail-wheel" type which will provide virtually unlimited service life of the platform.

Key words: livestock complex, merry-go-round milking platform, magnetic levitation, permanent magnets, repulsive forces, magnetostatics, wheel movers.

УДК 621.892.272

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-6-33-36

Технология переработки отработанных моторных масел сельскохозяйственной техники в консистентные смазки модифицированным коллоидным графитом

А.В. Рухов,
д-р техн. наук, проф.,
artem1@inbox.ru

Е.С. Бакунин,
канд. техн. наук, доц.,
jack1400@yandex.ru

А.В. Рухов,
аспирант,
rukhov022@gmail.com

Аль-Амери Саджа Нафеа Мохсин,
аспирант,
htov@mail.tstu.ru

Е.Ю. Образцова,
канд. техн. наук, доц.,
nikif83@mail.ru
(ФГБОУ ВО ТамГТУ)

Аннотация. Рассмотрена технология получения модифицированной коллоидным графитом консистентной смазки из регенерированного отработанного моторного масла 15W40 diesel, загущенного кальциевым мылом. Установлено, что с увеличением концентрации графита монотонно растет концентрация воды, в то же время содержание загустителя остается постоянным. Повышение концентрации графита приводит к уменьшению пенетрации с 440 до 310 ед. Наблюдается повышение температуры каплепадения с 79 до 88 °С при содержании графита 150 ppm и дальнейшее ее уменьшение до 81 °С. Минимальный диаметр пятна износа отмечается при содержании графита 150 ppm и составляет 0,215 мм, что на 25,1 % ниже, чем у контрольного образца.

Ключевые слова: переработка, сельскохозяйственная техника, коллоидный графит, нанографит, консистентные смазки, электрохимическая эксфолиация.

Постановка проблемы

Развитие агропромышленного комплекса невозможно без внедрения новой сельскохозяйственной техники и оборудования, применение которых требует использования большого ассортимента технологических жидкостей, в том числе пластичных смазочных материалов [1, 2]. Особую актуальность данный вопрос приобретает при использовании механизированной подвесной и прицепной техники. В то же время наблюдается серьезная экологическая проблема, связанная с накоплением отработанных моторных масел от сельскохозяйственной техники, особенно на фоне постоянного увеличения парка машин [3].

В связи с этим актуальной задачей является переработка отработанных моторных масел сельскохозяйственной техники в пластичный смазочный материал (ПСМ). Особенности переработки отработанных масел [4], как правило, усложняют получение консистентных смазок высокого качества, их применяют для производства продуктов с загустителями на основе кальциевых мыл. Данные консистентные смазки отличаются низкой ценой, использованием доступных и безопасных компонентов, в том числе из растительного сырья. ПСМ на основе отработанных моторных масел и кальциевых мыл не отличаются высокими качественными характеристиками, поэтому их улучшают специальными добавками, такими как противоизносные [5], противозадирные [6], антиокислительные [7] и др.

В настоящее время также наметилось новое направление, связанное с использованием в качестве функциональных добавок наночастиц, что обусловлено их уникальными свойствами [8, 9]. Особый интерес представляет коллоидный графит (КГ), в литературе также именуемый как нанографит или многослойный графен [10, 11]. Следует отметить, что в большинстве исследований КГ используется аналогично графиту, как несущему материалу [10], что требует его введения в значительных количествах – от 0,1% масс. Ввиду высокой стоимости КГ при таких концентрациях создание промышленных образцов экономически нецелесообразно. Известна работа [11], в которой описывается структурирующее действие КГ и используются минимальные концентрации – от 0,075% масс. (750 ppm).

Цель исследования – изучение влияния нанопластинок при концентрациях менее 750 ppm на трибологические и реологические свойства консистентных смазок для технологии переработки отработанного моторного масла сельскохозяйственной техники.

Материалы и методы исследования

Исследовали регенерированное отработанное моторное масло 15W40 diesel, использовавшееся в сельскохозяйственном тракторе New Holland T8.410. Очистка осуществлялась адсорбционным методом по оригинальной технологии (патент № 2769605 РФ МПК C10M 175/02).

Синтез КГ осуществлялся методом электрохимической эксфолиации как наиболее эффективный и экологически безопасный [12]. Исходным материалом являлась фольга терморасширенного графита «Графлекс». В качестве электролита использовали 0,1 Н раствор NaOH, плотность электрического тока – 0,11 А/см².

Синтез осуществляли следующим образом. В термостатированный стакан наливали 150 мл электролита. На расстоянии 15 мм располагались два графитовых электрода шириной 9,5 мм, погруженных в электролит на 55 мм. К электродам подключался источник переменного напряжения прямоугольной формы с частотой 0,1 Гц. Время синтеза 45 мин. В течение всего процесса электролит интенсивно перемешивался лопастной мешалкой. Полученная суспензия КГ имела концентрацию 2,05 г/л.

Полученные нанопластины представляют собой образования, содержащие от 15 до 25 слоев графена. Для установления латеральных размеров были использованы методы оптической микроскопии и динамического рассеяния света, реализованные в приборах микроскоп OSEELANG BM-500T и анализатор размеров частиц NICOMP-380ZLS. Результаты исследования, приведенные на рис. 1, показывают, что форму пластинок можно привести к квадрату со сторонами порядка 6,3 мкм. Как видно, результаты, полученные разными методами, хорошо коррелируются между собой.

Образцы консистентной смазки получали, нагревая до 65°C регенерированное моторное масло (100 г), перемешивание обеспечивалось верхнеприводной мешалкой. Далее в него добавляли 80 г нерафинированного подсолнечного масла, 50 мл известкового молока, содержащего 12 г гидроксида кальция, и снова нагревали, далее автоматически поддерживалась температура в диапазоне 95-100°C в течение 1,5 ч. Затем нагрев выключали, к полученной массе добавляли еще 100 г регенерированного отработанного машинного масла. При интенсивном перемешивании масса охлаждалась до 55-60°C и переливалась в тару. Отбор проб для исследования проводился после снижения температуры до комнатной. При приготовлении известкового молока в воду добавляли суспензию КГ в количестве, обеспечивающем концентрации графита 15, 75, 150 и 750 ppm.

У полученных образцов ПСМ определяли температуру каплепадения, пенетрацию, содержание загустителя и остаточное содержание воды. Кроме того, с использованием машины трения выявляли зависимости диаметра пятна износа и коэффициента трения от величины осевой нагрузки.

Содержание воды определялось дистилляционным методом с приемником-ловушкой со шкалой 10 см³. С поверхности образца испытываемой смазки шпателем снимали и отбрасывали верхний слой не менее 10 мм, затем в трех местах, не вблизи стенок сосуда, брали пробы примерно в равных количествах, которые складывали вместе в фарфоровую чашку и тщательно перемешивали. В дистилляционную колбу вводили 50 г пробы с погрешностью не более 1%. Затем в колбу приливали 100 мл нефраса С2 80/120. Далее содержимое колбы доводили до кипения и выдерживали так, чтобы скорость конденсации дистиллята в приемник была от 2 до 5 капель в 1 с. Перегонку прекращали, как только объем воды в приемнике-ловушке переставал увеличиваться и верхний слой растворителя становился совершенно прозрачным. Каждое испытание воспроизводили 2 раза. Установлено, что с увеличением содержания КГ монотонно растет содержание воды с 0,6 до 2,3% масс.

Содержание кальциевого загустителя определяли по ГОСТ 5211-85. Значение пенетрации определялось методом измерения глубины погружения в ПСМ конуса массой 150 г и Ø 65 мм. Температура каплепадения смазки определялась по методу ASTM D 566. Аналогично содержанию воды с увеличением содержания КГ также монотонно уменьшается величина пенетрации с 440 до 310 ед. В то же время температура каплепадения имеет экстремум при концентрации 150 ppm. Результаты исследования реологических характеристик представлены на рис. 2.

Трибологические испытания проводились с использованием четырехшариковой машины трения. Применялись шарики из стали Ш15 – 10 мм. Частота вращения 1480 мин⁻¹. Время испытания 1 ч. Значение диаметра пятна износа определялось по девяти измерениям с помощью микроскопа HIGH CLOUD s4, калибровка которого осуществлялась объектом-микрометром ГОСТ 7513-75. Данные обрабатывались с использованием программного продукта TourTek TourView. В качестве контрольного образца применялся жировой солидол (ГОСТ 1033-79), выпускаемый серийно. Зависимость диаметра пятна износа от осевой нагрузки представлена на рис 3.

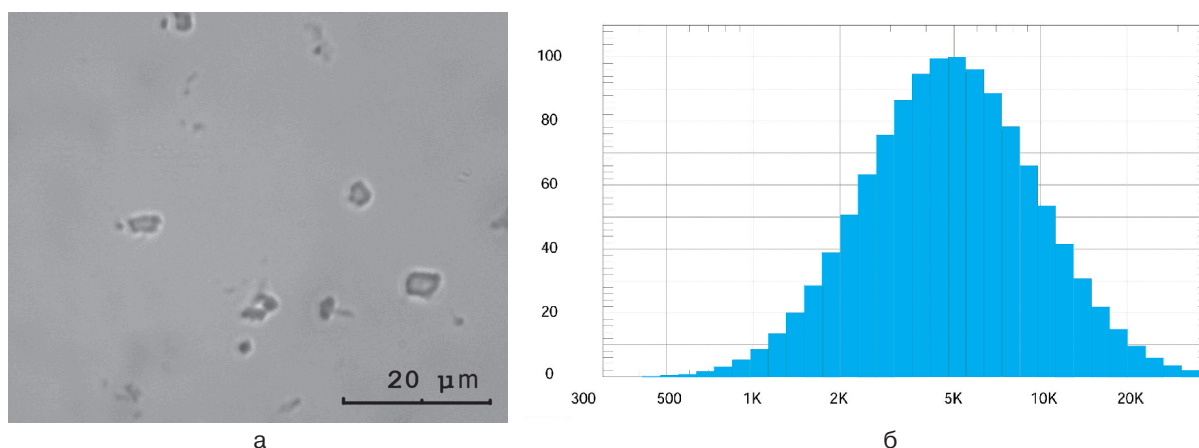


Рис. 1. Диаметральные характеристики графеновых нанопластинок, измеренные методами:
а – оптической микроскопии; б – динамического рассеяния света

Значение коэффициента трения определялось путем измерения тока, протекающего через электропривод машины трения с помощью мультиметра Holdpeak HP-90EPC.

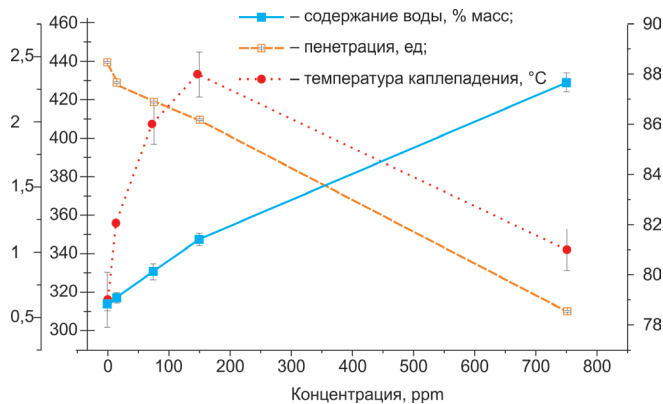


Рис. 2. Зависимость реологических характеристик смазочных материалов от концентрации коллоидного графита

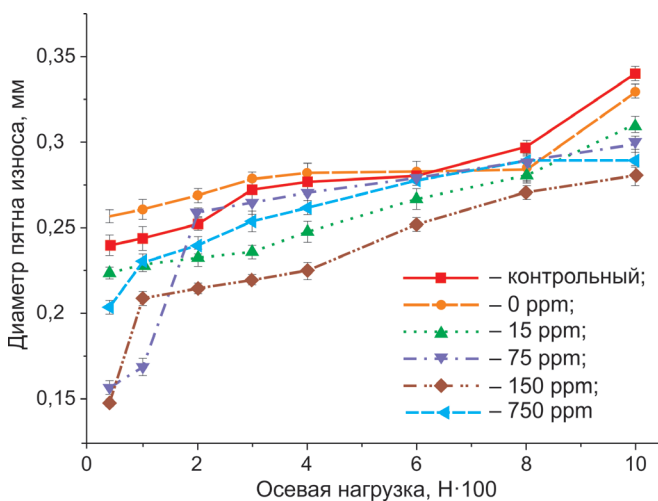


Рис. 3. Зависимость диаметра пятна износа от концентрации коллоидного графита и осевой нагрузки

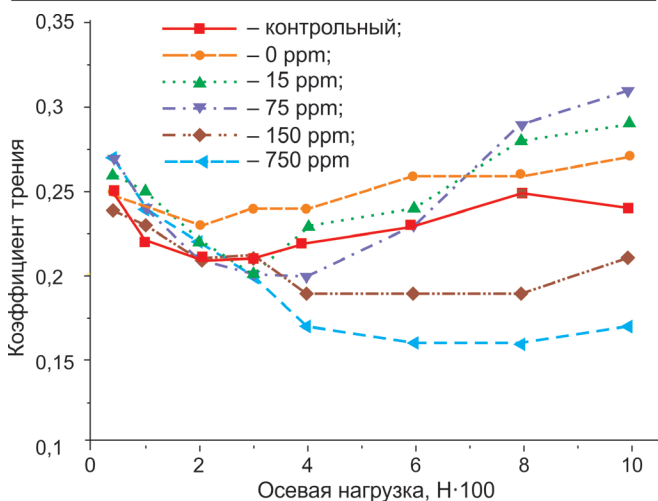


Рис. 4. Зависимость коэффициента трения от концентрации коллоидного графита и величины осевой нагрузки

Полученная зависимость коэффициента трения от осевой нагрузки представлена на рис. 4.

Результаты исследований и обсуждение

Параметры полученных смазочных материалов (температура каплепадения, пенетрация, доля загустителя и остаточное содержание воды, зависимости диаметра пятна износа и коэффициента трения от значения осевой нагрузки) позволяют в полном объеме судить о трибологических и реологических свойствах ПСМ.

Доля свободной воды в смазочном материале монотонно увеличивается от 0,6 до 2,3% масс. с повышением концентрации графита. В то же время введение КГ не сказывается на образовании кальциевых мыл и их концентрация для образцов составляет $18,5 \pm 1,3\%$ масс. Этот факт можно объяснить тем, что при постоянном содержании кальциевого мыла изменяется его структура в результате взаимодействия графитовых пластинок с нитевидными кристаллами загустителя.

Природа данного взаимодействия пока непонятна, но можно предположить, что оно обусловлено дисперсионными силами. Нанопластины КГ, возможно, выступают в качестве центров, формирующих физические связи между отдельными нитями, образованными кальциевым мылом. В будущих исследованиях планируется установить механизм взаимодействия с использованием методов вычислительной химии, в частности молекулярной динамики. Также в поддержку высказанной гипотезы выступает изменение содержания воды, так как более разветвленная структура загустителя может удерживать большее количество молекул воды. Концентрация воды напрямую коррелируется с величиной пенетрации. Чем больше воды, тем ниже значение пенетрации ПСМ.

Влияние концентрации КГ на значение температуры каплепадения также указывает на изменение структуры загустителя, которая имеет прочную конфигурацию при содержании нанопластинок углерода 150 ppm. Это подтверждается значением величины пятна износа при испытаниях на четырехшариковой машине трения с осевой нагрузкой от 200 Н. Если бы КГ оказывал только функциональное действие [9], то это повлияло бы только на трибологические характеристики, а в данном случае изменились и реологические свойства, которые, в первую очередь, зависят от структуры загустителя. Это косвенно подтверждается анализом зависимостей, представленных на рис. 3. Если графит выполнял бы только функциональное назначение, то с увеличением его концентрации прослеживалось бы снижение величины предельного пятна износа. Однако полученный базовый солидол (не содержащий КГ) уступает серийному образцу, но с добавлением нанопластинок углерода величина пятна снижается (но не монотонно) и контрольный образец начинает уступать модифицированному ПСМ. Лучшие результаты получены для концентрации 150 ppm, за исключением величины нагрузки 100 Н.

Анализ зависимостей, представленных на рис. 4, позволяет сделать вывод, что при малых значениях величины осевой нагрузки (до 300 Н) все образцы ведут себя схоже, но с ее увеличением проявляется качественное изменение.

Контрольный и базовый образцы солидола показывают схожие зависимости, при этом серийный образец имеет несколько меньшее значение коэффициента трения. Образцы, содержащие КГ до 150 ppm, после осевой нагрузки 800 Н демонстрируют коэффициенты трения выше, чем у ПСМ, не содержащего графита, что можно объяснить невыгодной конфигурацией загустителя в результате структурирующего воздействия КГ. Ожидаемо минимальные значения коэффициента трения демонстрирует образец, содержащий 750 ppm, это можно объяснить тем, что при данном значении концентрации графит уже участвует не только в формировании структуры загустителя, но и непосредственно в процессе трения.

Схожие зависимости с рассмотренным образцом показывает солидол, содержащий 150 ppm КГ, но с большими абсолютными значениями коэффициента трения. Для объяснения данного факта можно выдвинуть гипотезу, что при данном содержании коллоидного графита достигается необходимая и достаточная концентрация для формирования оптимальной структуры загустителя (структурирующее воздействие), а дальнейшее увеличение концентрации ведет к функциональному воздействию, т.е. участию пластинок КГ в процессе трения.

Выводы

1. Коллоидный графит, полученный электрохимическим способом при значении концентрации менее 750 ppm, оказывает влияние на реологические и трибологические свойства пластичных смазок, загущенных кальциевым мылом. Минимальный диаметр пятна износа и максимальная температура каплепадения наблюдаются при концентрации КГ 150 ppm. При этом содержание воды возрастает, а величина пенетрации уменьшается с повышением концентрации нанопластинок графита. Также анализ трибологических зависимостей позволяет сделать предположение, что КГ оказывает структурирующее действие на разветвленный нитевидный каркас кальциевых мыл и создает физические связи между отдельными их цепочками.

2. Проведенные исследования показали, что введение КГ с концентрацией 150 ppm в консистентные смазки на основе вторичных моторных масел, содержащих кальциевые мыла, улучшает трибологические свойства. Предельное пятно износа при осевой нагрузке 200 Н уменьшается на 20,1%, коэффициент трения при осевой нагрузке 1000 Н уменьшается в 1,14 раза по сравнению с контрольным образцом. Факт повышения температуры каплепадения до 88°C позволяет сделать вывод о расширении областей применения модифицированных ПСМ.

3. Проведенные исследования позволили определить условия получения ПСМ модифицированных КГ, которые можно рекомендовать в рамках промышленной технологии переработки отработанного моторного масла сельскохозяйственной техники. Данную технологию можно рекомендовать к применению как на специализированных предприятиях, так и в рамках сельскохозяйственных организаций.

Работа выполнена в рамках гранта для поддержки прикладных научных исследований молодых ученых 2022 г. Тамбовской области, проект МУ2022-02/25.

Список использованной источников

1. Бурак П.И., Голубев И.Г. Обновление парка сельскохозяйственной техники в рамках реализации ведомственного проекта «Техническая модернизация агропромышленного комплекса» // Техника и оборудование для села. 2021. № 6 (288). С. 2-5.
2. Almasia S., Ghobadiana B., Najafia G., Soufi M.D. A review on bio-lubricant production from non-edible oil-bearing biomass resources in Iran: Recent progress and perspectives // Journal of Cleaner Production. 2021. С. 290.
3. Yang Z., Liao Y., Ren H., Hao X., Song X., Liu Z. A novel co-treatment scheme for waste motor oil and low rank coal slime: Waste dispose waste // Fuel. 2021. С. 292:120275.
4. Сафаров Ж.А., Хайитов Р.Р., Муродов М.Н., Жумаева М.Т. Комплексная переработка отработанных моторных масел с получением ценных продуктов // Теория и практика современной науки. 2019. № 4(46). С. 201-206.
5. Gong L., Qian Sh., Wang W., Ni Z., Tang L. Influence of nano-additives (nano-PTFE and nano-CaCO₃) on tribological properties of food-grade aluminum-based grease // Tribology International. 2021. 160:107014.
6. Wan Sh., Tieu A. K., Xia Y., Zhu H., Tran B. H., Cui Sh. An overview of inorganic polymer as potential lubricant additive for high temperature tribology // Tribology International. 2016. № 102. С. 620-635.
7. Nassar A.M., Ahmed N.S., Abdel-Hameed H.S., El-Kafrawy A.F. Synthesis and utilization of non-metallic detergent/dispersant and antioxidant additives for lubricating engine oil // Tribology International. 2016. № 93. С. 297-305.
8. Sun Zh., Xu Ch., Peng Y., Shi Y., Zhang Y. Fretting tribological behaviors of steel wires under lubricating grease with compound additives of graphene and graphite // Wear. 2020. С. 454-455.
9. Obratsova E.Yu., Barshutina M.N., Bakunin E.S., Rukhov A.V., Shipovskaya A.A., Shuklinov A.V. Adsorption characteristics of nanographite oxide obtained from thermally expanded graphite // Mendeleev communications. 2020. № 30(2). С. 174-176.
10. Ouyang T., Shen Y., Yanga R., Liang L., Liang H., Lin B., Tian Zh. Q., Shen P.K. 3D hierarchical porous graphene nanosheets as an efficient grease additive to reduce wear and friction under heavy-load conditions // Tribology International. 2020. 144(4):106118.
11. Zhao J., Li Y., Mao J., He Y., Luo J. Synthesis of thermally reduced graphite oxide in sulfuric acid and its application as an efficient lubrication additive // Tribology International. 2017. № 116. С. 303-309.
12. Bakunin E.S., Obratsova E.Yu., Rukhov A.V. Modern Methods for Synthesis of Few-Layer Graphene Structures by Electrochemical Exfoliation of Graphite // Inorganic Materials: Applied Research. 2019. № 10(2). С. 249-255.

Technology of Processing Used Motor oils From Agricultural Machinery Into Lubricants Using Modified Colloidal Graphite

A.V. Rukhov, E.S. Bakunin, A.V. Rukhov,
Al-Ameri Saja Nafea Mohsin, E.Yu. Obratsova
(Tambov State Technical University)

Summary. The article deals with the technology for producing colloidal graphite-modified grease from the used regenerated 15W40 diesel engine oil thickened by means of calcium soap. It has been established that with increasing graphite concentration the water concentration monotonically increases while at the same time the thickener content remains constant. Increase in the graphite concentration leads to a decrease in penetration from 440 to 310 units. At the graphite content of 150 ppm increase in the dropping temperature from 79 to 88°C and further decrease to 81°C is observed. The minimum diameter of the wear spot is observed at a graphite content of 150 ppm and is 0.215 mm which is 25.1 % lower than that of the control sample.

Key words: processing, agricultural machinery, colloidal graphite, nanographite, lubricating greases, electrochemical exfoliation.

УДК 621.357.77

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-6-37-41

Восстановление деталей машин электролитическим натиранием

М.Р. Садыков,
ассистент,
marat3012@yandex.ru

И.Х. Гималтдинов,
канд. техн. наук, доц.,
tskazgau@mail.ru

Н.Р. Адигамов,
д-р техн. наук, проф.,
n-adigamov@rambler.ru

И.Г. Галиев,
д-р тех. наук, проф.,
drgali@mail.ru
(ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ»);

А.В. Гриценко,
д-р тех. наук, доц.,
(Южно-Уральский ГАУ)

Аннотация. Разработана методика восстановления изношенных внутренних цилиндрических отверстий деталей машин. Предложено запатентованное устройство для нанесения покрытий методом электролитического натирания. Проведены и обработаны результаты эксперимента, где учитывались рациональные факторы влияния на физико-механические характеристики поверхности.

Ключевые слова: восстановление, электролитическое натирание, устройство, электролит, твёрдость, износостойкость.

Постановка проблемы

Развитие сельскохозяйственного машиностроения, совершенствование технологий ремонта и восстановления деталей имеют большое значение для эффективного функционирования сельскохозяйственных предприятий. Важной задачей является внедрение новых технологий в процесс восстановления и ремонта сельскохозяйственной техники, что предполагает использование современного оборудования, инновационных материалов и цифровых технологий [1].

Для повышения качества ремонтно-обслуживающих технологических процессов на сельскохозяйственных предприятиях необходимо развивать сеть специализированных сервисных

центров и предоставлять специалистам доступ к современному оборудованию и обучающим программам. Это позволит повысить качество ремонтно-обслуживающих работ и сократить время простоя техники, повысит эффективность её эксплуатации [2].

Введенные санкции, уход многих производителей отразились на стоимости производства и эксплуатации современных сельскохозяйственных машин [3]. К наиболее дорогостоящим деталям современных отечественных и зарубежных сельскохозяйственных машин относятся корпусные детали [4], внутренние рабочие поверхности которых подвергаются износу, что связано со значительными динамическими, механическими, температурными нагрузками, химическими воздействиями, абразивным изнашиванием и т.д. [5]. Восстановлению подлежат гильзы цилиндров и коренные опоры двигателей внутреннего сгорания, корпус задней крышки коробки переключения передач, картер коробки, корпус коробки переключения передач, крышка двигателя, картер (кожух) маховика, картер распределительных шестерен, стакан подшипника [6].

Существует множество способов восстановления внутренних цилиндрических поверхностей деталей машин в ремонтной практике [7]. Многие из них требуют дорогостоящего оборудования и не являются экономически выгодными. Одним из наиболее эффективных методов восстановления является гальваническое осаждение металлов с помощью электролитического натирания [8].

Предлагаемый метод имеет следующие преимущества: возможность получения высокой твердости и износостойкости покрытий; равномерность и точность нанесения, что снижает затраты на последующую обработку; возможность восстановления

одновременно большого количества деталей без термического воздействия на них; обеспечение очень высокой прочности сцепления покрытия с поверхностью деталей [9].

Таким образом, разработка новых технологий, выбор качественного оборудования и использование экономически эффективных материалов для восстановления внутренних цилиндрических поверхностей деталей машин является важной задачей, которая должна быть решена для повышения эффективности ремонта и эксплуатации сельскохозяйственной техники.

Цель исследований – повышение эффективности восстановления внутренних цилиндрических поверхностей корпусных деталей за счет обоснования режимов электролитического натирания с получением восстанавливаемых поверхностей с заданными физико-механическими свойствами.

Материалы и методы исследования

На базе кафедры «Эксплуатация и ремонт машин» Казанского ГАУ были проведены экспериментальные исследования и обоснованы режимы нанесения гальванических покрытий методом электролитического натирания. В лаборатории была собрана установка для электролитического натирания внутренних поверхностей деталей для проведения экспериментальных исследований (рис. 1).

Для восстановления внутренних цилиндрических деталей предлагается новый комбинированный инструмент для электроэрозионной обработки и нанесения покрытий методом электролитического натирания (рис. 2), новизна технического решения подтверждена патентом Российской Федерации на изобретение RU № 2739927 МПК C25D5/06.

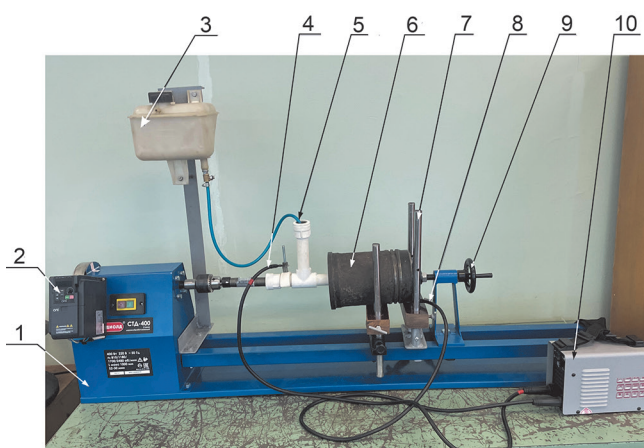


Рис. 1. Установка для электролитического натирания внутренних поверхностей деталей машин:

- 1 – приводной станок;
- 2 – преобразователь частоты оборотов двигателя;
- 3 – бак для электролита;
- 4 – питание для подключения к аноду;
- 5 – система подачи электролита;
- 6 – восстанавливаемая деталь;
- 7 – фиксирующая стойка;
- 8 – питание для подключения к катоду;
- 9 – прижимной механизм; 10 – источник тока

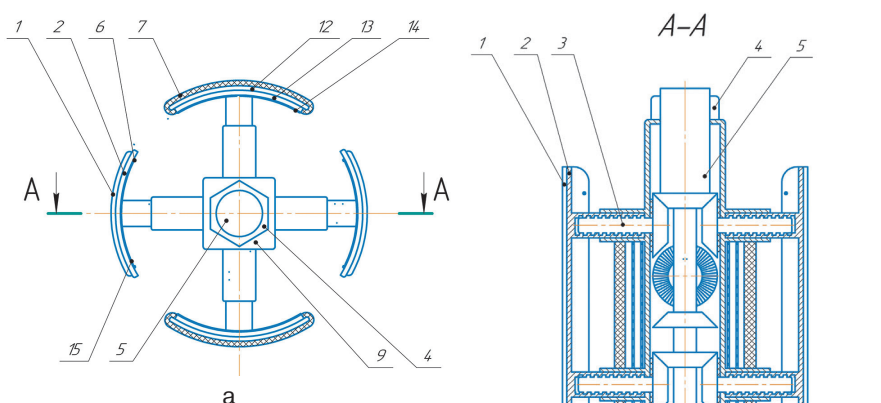


Рис. 2. Комбинированный инструмент для электроэрозионной обработки и нанесения покрытий методом электролитического натирания:

- а – вид сверху, б – сечение вида А-А;
- 1 – электрод; 2 – корпус электрода; 3 – ходовой винт электрода с зубчатым венцом; 4 – гайка-фиксатор; 5 – приводной вал;
 - 6 – болтовое соединение электрода; 7 – войлочный тампон;
 - 8 – отверстия для подачи электролита;
 - 9 – базисная труба комбинированного инструмента;
 - 10 – ходовой винт анода с зубчатым венцом; 11 – подшипник скольжения;
 - 12 – анод электролитического натирания; 13 – корпус анода;
 - 14 – патрубки анода; 15 – патрубки катода

При вращении приводного вала, который располагается внутри базисной трубы комбинированного инструмента, против часовой стрелки (в положении «нажать до упора») крутящий момент через зубчатое зацепление верхних шестерен приводного вала передается ходовому винту электрода с зубчатым венцом. Ходовой винт электрода с зубчатым венцом с правой трапецевидной резьбой начинает вращение против часовой стрелки, при этом корпуса электродов с закрепленными электродами

начинают движение от базисной трубы комбинированного инструмента к внутренней цилиндрической поверхности восстанавливаемой детали до прижатия, усилие которого регулируется электронным блоком управления (не показано).

При этом анод остается в исходном положении и не прижимается к детали. После прижатия к внутренней поверхности детали электрода для электроэрозионной обработки происходит стабилизация положения гайки-фиксатора с базисной трубой

комбинированного инструмента. Деталь подключают к положительному полюсу источника постоянного тока, а электрод – к отрицательному. Комбинированный инструмент начинает вращаться с помощью электропривода или токарного станка (не показано), через патрубки поступает рабочая жидкость для электроэрозионной обработки и происходит процесс снятия и удаления напряженных, неровных слоев металла для того, чтобы получить чистую, гладкую, блестящую поверхность восстанавливаемой детали, правильной геометрической формы.

После завершения электроэрозионной обработки деталь готова к нанесению покрытий методом электролитического натирания, т.е. ко второму этапу. Ослабляется гайка-фиксатор от базисной трубы комбинированного инструмента, далее приводной вал (в положении «нажать до упора») приводится в движение в обратную сторону (по часовой стрелке) и корпус электрода возвращается в исходное положение. Далее при положении приводного вала «поднять до упора» происходит зацепление нижней шестерни приводного вала с ходовыми винтами с зубчатым венцом, при вращении по часовой стрелке приводного вала корпус анода начнет двигаться к детали и прижимается к ней войлочным тампоном под контролем электронного блока управления (не показано) для рационального контакта. Инструменту придается вращательное движение, как при электроэрозионной обработке.

На втором этапе – нанесение покрытий методом электролитического натирания – корпус электрода системы для электроэрозионной обработки остается в неизменном положении. Анод подключают к положительному полюсу источника постоянного тока, а восстанавливаемую деталь – к отрицательному. Через патрубки анода поступает рабочая жидкость к множеству отверстий, согласно этапу гальванического осаждения.

При проведении экспериментальных исследований анализировались основные параметры технологического процесса электролитического натирания. Эксперименты осуществлялись с использованием технического оборудования, способного гарантировать получение необходимых данных с высокой точностью. Дальнейшая математическая обработка результатов проводилась с применением современных средств обработки статистических данных и программы Excel, что позволило получить зависимость между факторами с необходимой точностью [10].

Выход металла по току определялся по формуле

$$\eta = \frac{G}{E \cdot I \cdot t} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где η – выход металла по току, %;

G – фактическая масса осадка, полученного при электролизе, г;

E – электрохимический эквивалент железа (1,042 г/А·ч);

I – сила тока при электролизе, А;

t – время электролиза, ч;

Кроме того, для экспериментов по электролитическому натиранию при восстановлении внутренних поверхностей деталей сельскохозяйственных машин применялись устройство для электролитического натирания, твердомер ТК-2М, машина трения 77MT-1, аналитические весы AND HR-200.

Режимы электролитического натирания: кислотность электролита pH = 1; сила тока $I = 20-30$ А/м²; напряжение $U = 3-12$ В; скорость вращения анода $V = 40-160$ мин⁻¹; выход металла по току $\eta = 85-96\%$; температура электролита $t = 52-55^\circ\text{C}$; сила прижатия анода $F = 20-44$ Н.

Анод – из Ст3 (ГОСТ 380-2005). Анодная прокладка – войлок технический полугрубошерстный ППрБ толщиной 6-12 мм, плотность – 0,28 г/см³ (ГОСТ 6308-71).

Состав электролита, применяемого во время проведения экспериментов: борная кислота H₃BO₃ (около 10-20 г·л⁻¹), сульфат железа FeSO₄ (200 г·л⁻¹), сульфат цинка ZnSO₄ (20 г·л⁻¹) [11].

Проведен эксперимент для определения наиболее эффективных технологических параметров в процессе гальванического осаждения с использованием метода электролитического натирания. Цель – выявить взаимосвязь между твердостью покрытия и такими факторами, как сила тока (I), температура (t) и сила прижатия к поверхности (F). Для выбора модели и минимизации числа необходимых экспериментов был использован экспертный подход. В данном исследовании была применена ортогональная центральная композиционная модель эксперимента, в которой были изменены значения трех факторов на разных уровнях. Общее количество проведенных экспериментов составило 27 и было распределено по разным точкам факторного пространства.

Результаты исследований и обсуждение

На рис. 3 представлено многомерное представление факторного пространства влияния на твердость, где различные факторы отображаются в виде осей, а их взаимодействие исследуется в этом пространстве. Это помогает визуализировать сложные взаимодействия между факторами и понять, как они влияют на конечный результат. Построены поверхности и контур желательности с помощью метода сплайн-подгонки (рис. 4) в промежутке от 0 до +1, где отклик твердости HRC это 0 – минимальное значение и 1 – максимальное значение.

Как видно из рис. 3 и 4, оптимальный отклик твердости наблюдается при воздействии двух факторов: сила прижатия к поверхности F , H , и сила

тока I , A . Данные факторы оказывают рациональное воздействие на время осаждения металла и твердость покрытия. Однако при изменении температуры электролита наблюдается уменьшение реакции модели, что указывает на негативное влияние этого фактора. Возможно, это связано с квадратичной зависимостью и наличием максимума функции, что подтверждается отрицательным коэффициентом абсолютного влияния. Отрицательные коэффициенты абсолютного влияния других факторов на реакцию также свидетельствуют о явно выраженной квадратичной зависимости и наличии экстремума функции в виде максимума.

В рамках проведенного эксперимента было установлено, что износостойкость и адгезия осажденного материала повысились. Износостойкость является важным параметром для оценки долговечности и стойкости материала к механическим нагрузкам и трению. После внедрения новой технологии или изменений в составе материала износостойкость значительно повысилась. Это означает, что материал стал более устойчивым к истиранию и сохранению своих функциональных и внешних характеристик на протяжении длительного времени использования. Адгезия, или способность материала иметь высокую сцепляемость с другими поверхностями, также была высокой при проведении эксперимента.

Исследование показало, что при электролитическом натирании в условиях механического воздействия шероховатость металлической поверхности уменьшается, а скорость осаждения металла становится постоянной. Это отличается от типового процесса гальванического железнения, где обычно шероховатость поверхности возрастает со временем. При низкой частоте вращения осадок имеет больше времени для роста крупных кристаллов, что приводит к более слабому связыванию между ними и, следовательно, к снижению прочности слоя. Однако при более высокой частоте вращения комбинированного инструмента кристаллы

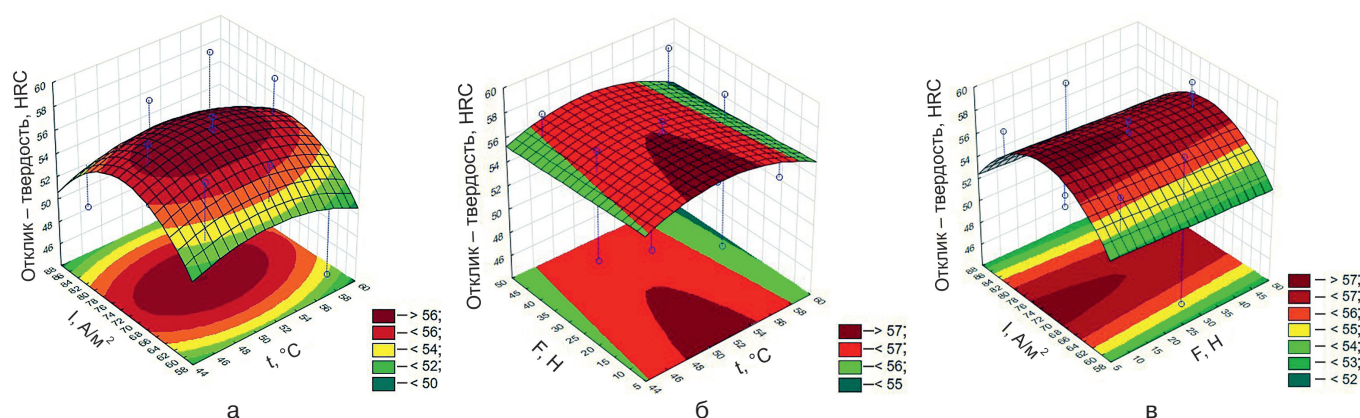


Рис. 3. Оценка влияния режимов электролитического натирания на твердость (по результатам статистического анализа):

- а – зависимость твердости от выхода силы тока, A/m^2 , и температуры электролита $t, ^\circ C$;
б – зависимость твердости от силы прижатия инструмента F, H , и температуры электролита $t, ^\circ C$;
в – зависимость твердости от силы тока, A/m^2 , и силы прижатия инструмента F, H

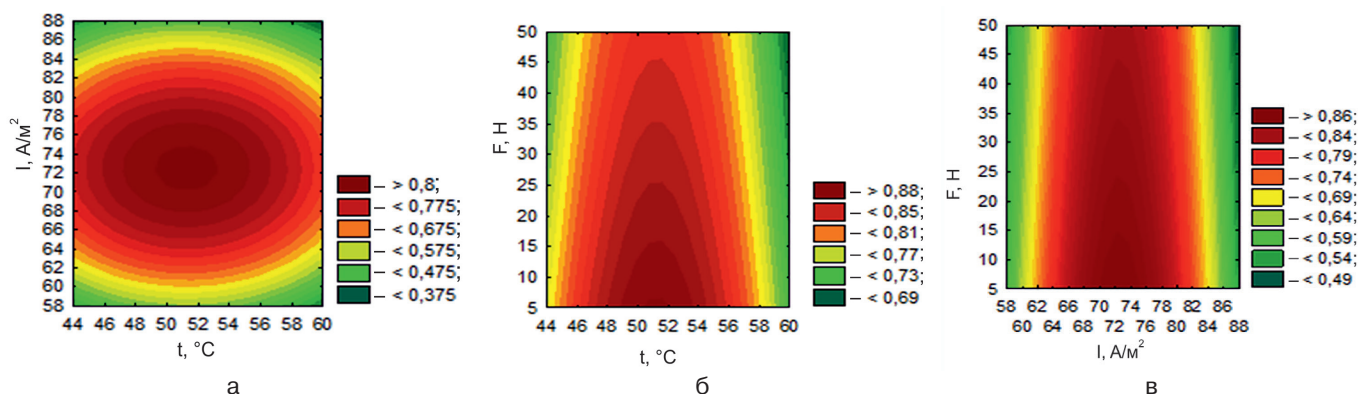


Рис. 4. Поверхность и контур желательности – метод сплайн-подгонка:

- а – зависимость твердости от выхода силы тока, A/m^2 , и температуры электролита $t, ^\circ C$;
б – зависимость твердости от силы прижатия инструмента F, H , и температуры электролита $t, ^\circ C$;
в – зависимость твердости от силы тока, A/m^2 , и силы прижатия инструмента F, H

осадка имеют меньше времени для роста, что способствует образованию более плотной и прочной структуры осажденного слоя.

При проведении экспериментов было выявлено, что на качество сцепления нанесенного слоя оказывает влияние сила прижатия к поверхности. При недостаточном давлении инструмента на поверхность детали слой осаждаемого металла будет иметь меньшую прочность сцепления из-за отсутствия уплотнения и формирования кристаллической решетки, так как в месте соприкосновения инструмента и детали происходил медленный процесс электролиза.

Выводы

1. Применение комбинированного инструмента для электроэрозионной

обработки и нанесения покрытий методом электролитического натирания на внутренние цилиндрические поверхности предусматривает выравнивание и снятие контактирующих выступов на поверхности восстанавливаемой детали, придание правильной геометрической формы, поддержание рентабельных условий электролиза по всей площади контакта анода с поверхностью восстанавливаемой детали.

2. В результате исследования было установлено, что параметры технологического процесса (катодная плотность тока, температура электролита, сила прижатия инструмента) оказывают существенное влияние на твердость полученного покрытия, которая находится на уровне новых деталей и составляет 50-60 HRC.

Проведенное исследование позволяет рекомендовать рациональный режим технологического процесса электролитического натирания с целью получения восстановленного слоя с заданными характеристиками по твердости и качеству сцепления осажденного слоя.

3. Предложенная технология позволит увеличивать ресурс деталей в 1,5 раза, повысить скорость осаждения металла на изношенных поверхностях в 10 раз, что сократит время нанесения в 4 раза по сравнению с традиционными методами. Таким образом, восстановление и ремонт деталей машин является более экономически выгодными по сравнению с приобретением новых деталей, поскольку стоимость ремонта обойдется в 6 раз дешевле.

Список

ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Yahin S., Gabdrafiqov F., Khaliullin F., Khusainov R., Naficov I.** Improving the operational efficiency of tractors by ensuring their ability to perform work // Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources (FIES 2019). EDP Sciences, 2020. С. 00111.

2. **Egorov N.M., Khaliullin F.Kh., Yakhin S.M., Galiev I.G.** Results of engineless studies of power plant supports for machine-tractor units' operation. // Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources (FIES 2020). EDP Sciences, 2020. С. 00124.

3. **Gritsenko A., Plaksin A., Almetova Z.** Development of Combined ICE Startup System by Means of Hydraulic Starter // International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2017, 16-19 мая 2017 г. Saint-Petersburg, 2017. P. 1238-1245. DOI 10.1016/j.proeng.2017.10.625.

4. **Stanovska I., Duhanets V., Prokopych L., Yakhin S.** Classification rule for determining the temperature regime of induction gray cast iron: Physics and Engineering. 2021. № 1. С. 60-66.

5. **Mudrov A.P., Mudrov A.G., Yakhin S.M., Mingaleev N.Z., Pikhullin G.V.** Study of

spatial hinge mechanisms and their use in agricultural machines // Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources (FIES 2019). EDP Sciences, 2020. С. 00012.

6. **Gritsenko A., Shepelev V., Zadornaya E.** Test diagnostics of engine systems in passenger cars // FME Transactions. 2020. Vol. 48, No. 1. P. 46-52. DOI 10.5937/fmet2001046G. EDN SGRUWJ.

7. **Puzyr R., Shchetynin V., Yakhin S.** Improving the technology for manufacturing hollow cylindrical parts for vehicles by refining technological estimation dependences // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. Т. 6. № 1-114. С. 56-64.

8. **Khafizov K.A., Khafizov R.N., Nurmiev A.A., Sinitsky S.A.** Ways to reduce carbon dioxide emissions from arable machinery and tractor units. // Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources. Vol. 52. Kazan, 2022. С. 00025.

9. **Галиев И.Г.** Результаты по обоснованию влияния остаточного ресурса на надежность агрегатов и систем трактора. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2010. № 2(17). С. 66-67. EDN MKUUGB.

10. **Хафизов К.А., Хафизов Р.Н., Тюрин И.Ю., Левченко Г.В., Гамаюнов Д.В.** Оптимальные параметры трактора и пахот-

ного агрегата по различным критериям оптимизации // Аграрный научный журнал. 2023. № 1. С. 155-160.

11. **Адигамов Н.Р., Валиев А.Р., Гималтдинов И.Х., Шайхутдинов Р.Р., Садыков М.Р.** Повышение производительности и качества восстановления деталей электролитическим натиранием // Техника и оборудование для села. 2020. № 4 (274). С. 34-38.

Restoration of Machine Parts by Electrolytic Rubbing

M.R. Sadykov, I.Kh. Gimaltdinov, N.R. Adigamov, I.G. Galiev

(Kazan State Agrarian University)

A.V. Gritsenko

(South Ural State Agrarian University)

Summary. The article deals with the developed method for restoring worn internal cylindrical holes of machine parts. The patented device for applying coatings using the electrolytic rubbing is proposed. The results of the experiment were processed taking into account the rational factors influencing the physical and mechanical characteristics of the surface.

Key words: restoration, electrolytic rubbing, device, electrolyte, hardness, wear resistance.





5 ИЮЛЯ

ЛИПЕЦКИЙ РАЙОН,
БРУСЛАНОВКА,
ОБЛАСТНАЯ
СОРТОИСПЫТАТЕЛЬНАЯ
СТАНЦИЯ

lipagro.ru



**День
Липецкого
поля 2024**

6+
реклама



Выставочная фирма
Центр

Тел.: (473) 233-09-60
E-mail: pole@vfcenter.ru

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ СПОНСОР



ОФИЦИАЛЬНЫЙ СПОНСОР



ПАРТНЕРЫ ВЫСТАВКИ




ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПОСТАВЩИК УДОБРЕНИЙ



УДК 621.365

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-6-42-45

Исследование системы электрического отопления сельского дома

Л.Ю. Юферев,

д-р техн. наук, доц.,

leouf@yandex.ru

(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Аннотация. С использованием данных о характеристиках строительных материалов, их сопротивлении теплопередаче и теплопроводности составлена методика расчета, позволяющая оценить необходимую мощность нагревательного котла для сельского дома, а также суточную и помещающую потребляемую мощность системы отопления. Обоснована и испытана одноконтурная система отопления с возможностью работы без циркуляционного насоса для частного сельского дома, особенно в средней полосе Российской Федерации.

Ключевые слова: отопление, электрообогрев, теплопотери, сопротивление теплопередаче.

Постановка проблемы

Отопление – один из важнейших вопросов для владельцев частных домов в сельской местности, особенно в условиях сурового климата в средней полосе Российской Федерации. В качестве источника тепла наибольшее распространение получили котлы, работающие на твердом топливе или газе. Электрическое отопление имеет ряд преимуществ: оно надежное (за исключением перерывов в электроснабжении), экологически чистое, работает тихо, не требует наличия отдельного помещения для оборудования, возможно крепление нагревателей на стену, а также пожаробезопасно. Для экономии электроэнергии электродкотлы могут программироваться на включение в определенное время и автоматическое отключение при достижении необходимой температуры, дистанционное управление и др.

Системы теплоснабжения длительное время развивались центра-

лизованно, т.е. на основе строительства теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), районных, квартальных, поселковых котельных. Централизованное теплоснабжение требует прокладки разветвленной сети подземных или наземных теплопроводов, обеспечения их надежной теплоизоляции, защиты от коррозии и механических повреждений при длительной эксплуатации. В силу этого наиболее рациональными системами для отопления частных жилых строений следует считать индивидуальные системы отопления.

Существует три основных схемы отопления:

- традиционное, когда жидкий теплоноситель нагревается в котле, затем, циркулируя по системе трубопроводов и радиаторов, отдает тепло отапливаемым помещениям;
- воздушное, где в качестве теплоносителя используется воздух, подаваемый после подогрева в отапливаемые помещения по воздуховодам;
- прямое электрическое, когда нагрев помещения осуществляется без теплоносителя – инфракрасными излучателями, электродконвекторами и прочими приборами, в которых электрическая энергия преобразуется в тепловую.

Наибольшее распространение получила первая система, где источником тепла служат котлы на разных видах топлива. Котел нагревает жидкий теплоноситель (в качестве теплоносителя используется специально подготовленная жидкость), поступающий затем по трубам к комнатным радиаторам (батареям). Через радиатор теплоноситель отдает часть тепла в комнату, затем возвращается обратно в котел.

Для индивидуальных домов площадью до 200 м² могут быть использованы котлы мощностью до 30 кВт, совмещенные с циркуляционными

насосами и расширительными баками. В центральном регионе России из общего количества котлов около 10% – электрические. Циркуляционные насосы работают непрерывно, поэтому к ним предъявляются такие требования, как простота и надежность, малое энергопотребление и бесшумность [1-2].

Напольные системы отопления индивидуального дома, широко распространенные на Западе, в нашей стране пока непопулярны, но перспективны. Их отличают высокая степень тепловой комфортности, теплоустойчивость, скрытая прокладка трубопроводов. Предельная температура поверхности пола в помещениях с постоянным пребыванием людей ограничена санитарно-гигиеническими нормативами на уровне 26-28 °С.

Электроотопление считается весьма надежным, экологически чистым и безопасным способом обогрева помещений. В целях экономии электроэнергии системы электроотопления могут программироваться на автоматическое включение и выключение, понижение температуры до заданного уровня и др. Источником тепла в таких системах является бойлер или одноконтурный электродкотел [3].

Цель исследования – определить теплопотери и параметры отопительного котла частного сельского дома в зависимости от размера, материалов, погодных условий и количества проживающих людей.

Материалы и методы исследования

Для исследования использовались данные о характеристиках строительных материалов, их сопротивлении теплопередаче и теплопроводности.

Составлена методика расчета, позволяющая оценить необходимую

мощность нагревательного котла, а также суточную и месячную потребляемую мощность системы отопления.

Обоснована и испытана однотрубная система отопления с возможностью работы без циркуляционного насоса.

Результаты исследований и обсуждение

Водяные системы отопления могут быть построены на принципе естественной циркуляции. Вода от котла к приборам теплообменника и обратно движется под действием гидростатического напора, возникающего благодаря различной плотности охлажденной и нагретой жидкости (теплоносителя). Нагретая жидкость имеет меньшую плотность, она поднимается вверх, при этом остывшая, более тяжелая, опускается вниз и вытесняет нагретую (рис. 1). Время для совершения одного оборота теплоносителя после включения отопления может составлять 10-20 мин.

В системах водяного отопления с естественной циркуляцией циркуляционные давления измеряются лишь десятками миллиметров водяного столба, что не позволяет устраивать данные системы в зданиях, имеющих большую протяженность. Кроме того, они требуют применения труб значительных диаметров. Перечисленных недостатков лишены системы водяного отопления с искусственной циркуляцией. В них циркуляция воды

создается центробежными насосами. Применение насосных систем отопления позволяет существенно увеличить протяженность трубопровода и уменьшить металлоемкость системы отопления за счет уменьшения диаметров разводящих трубопроводов [4].

Наиболее эффективно такая схема работает, если котел расположен ниже отопительных приборов. При этом для нормального действия системы требуется еще одно условие – чтобы циркуляционное давление было достаточным для преодоления всех сопротивлений, которые встречает движущаяся в этой системе вода. Сопротивление вследствие трения зависит от диаметра и длины трубопровода, а также от скорости движения воды.

Системы отопления с тепловыми приборами бывают однотрубными. Нагретая жидкость поступает на верхние этажи, а затем на нижние и обратно в котел (рис. 2). В нижние нагревательные приборы поступает смесь горячей жидкости и воды, охлажденной в верхних приборах [5]. Так как температура этой смеси ниже температуры в приборах верхних этажей, то поверхность нагрева нижних приборов должна быть несколько увеличена. Регулировочные краны 1-4 позволяют изменять пропускную способность через нагревательные приборы отдельно в каждом помещении, а регулировочный кран 5 – проводить балансировку по отдельным стоякам.

Однотрубные системы выполняются только с верхней разводкой, поэтому их применяют в зданиях, где имеются чердаки и можно располагать подающие магистрали в верхних этажах. Поэтажный пуск данных систем в действие невозможен, и в этом их недостаток. По сравнению с двухтрубными системами отопления однотрубные проще в монтаже и имеют более привлекательный внешний вид. Разработанная схема позволяет обогревать частный дом от твердотопливного котла даже при отсутствии или перерыве электроснабжения.

В двухтрубной схеме нагретая жидкость подается на каждый тепловой прибор по одним трубам, а охлажденная отводится по другим. Эта схема требует увеличенного расхода материалов (в 1,5-1,9 раза). Передача тепловой энергии в обогреваемое помещение осуществляется тепловыми приборами, которые могут быть как отдельными элементами, так и встраиваемыми в поверхности, например в пол.

Системы отопления теплым полом широко распространены в Европе, она обеспечивает максимальную комфортность, выполняется скрытой проводкой труб, а также имеет функцию теплового аккумулятора [6], так как стяжка, закрывающая тепловые приборы, представляет собой значительную массу нагретого бетона, который имеет большую инерционность. Температура поверхности пола в жилых помещениях ограничивается

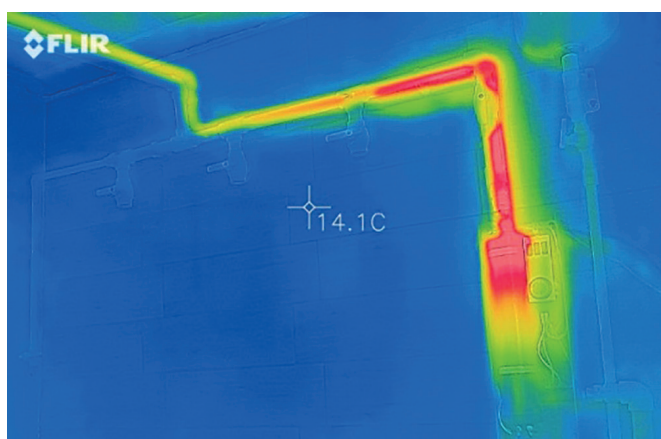


Рис. 1. Система отопления с естественной циркуляцией теплоносителя (источник тепла – электродкотел)

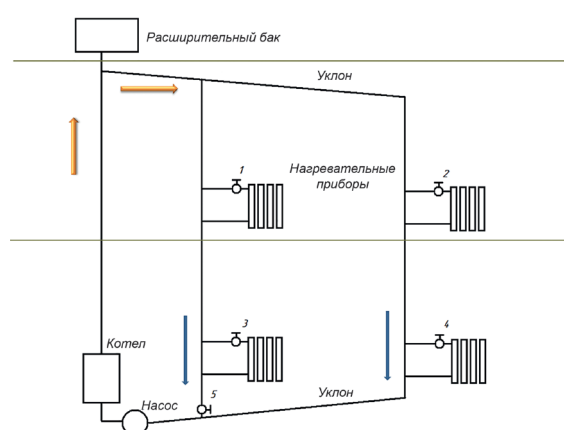


Рис. 2. Система водяного отопления с естественной циркуляцией, однотрубной схемой и дополнительным циркуляционным насосом

санитарно-гигиеническими нормативами на уровне 26-28°С.

Мощность теплоаккумулятора теплого пола:

$$Q_T = (C \cdot M \cdot \Delta T) =$$
$$= 1130 \cdot 20000 \cdot 10 = 226 \text{ МДж} =$$
$$= 62 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

где C – удельная теплоемкость бетона (1130 Дж/(кг·К);
 M – масса бетона (20000 кг);
 ΔT – разница температур (10°С).

Для достижения и поддержания в помещении нужной температуры необходимо выполнение условия: теплоотдача отопительного прибора Q_T покрывает теплотери помещения $Q_{\text{п}}$.

Для расчета теплотери через ограждающие конструкции используют формулу [7]

$$Q = S \cdot \frac{T}{R},$$

где Q – теплотери, Вт;
 S – площадь конструкции, м²;
 T – разница температур между внутренним и наружным воздухом, °С;
 R – тепловое сопротивление конструкции, м²·°С/Вт.

Значения сопротивления теплопередаче различных материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Сопротивление теплопередаче различных материалов (при $\Delta T = 40^\circ\text{C}$, $T_{\text{нар.}} = -20^\circ\text{C}$, $T_{\text{внутр.}} = 20^\circ\text{C}$)

Наименование слоя	Тепловое сопротивление, м²·°С/Вт
Стена из пенобетона, толщиной, см:	
20	1,7
30	2,8
40	3,4
Кирпичная стена (54 см)	1,65
Кладка из керамзитобетонных блоков (39 см)	1,0
Арболит (30 см)	2,9
Окно (двухкамерный стеклопакет)	0,5-0,65
Сруб из бруса (20 см)	1,2
Двойные двери	0,21
Потолочное (чердачное) перекрытие	2,43

Тепловое сопротивление полов складывается из сопротивления грунта и теплопроводности всех слоев пологового покрытия [8] (табл. 2):

$$R = \frac{1}{\alpha_v} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_n},$$

где δ – толщина слоя;
 λ – теплопроводность.
Для повышения точности теплотери через полы рассчитывают зонами по 2 м от стен с учетом удаленности.
Кроме того, в жилых домах обязательно должна быть предусмотрена вентиляция. Для нагрева 1 м³ воздуха температурой -20°С до + 20°С потребуется

$$Q_{\text{в}} = 1,4 \cdot 1,0 \cdot \frac{40}{3,6} = 15,5 \text{ Вт} \cdot \text{ч},$$

где $Q_{\text{в}}$ – теплотери 1 м³ воздуха;
1,4 – плотность воздуха (кг/м³);
1,0 – удельная теплоёмкость воздуха (кДж/(кг К));
40 – разница температур;
3,6 – коэффициент перевода в ватты.

Воздухообмен в жилом доме по нормативам должен составлять 7 м³/ч на проживающего человека, соответственно общее количество дополнительного нагреваемого воздуха составит

$$Q_{\text{вент}} = 7 \cdot N \cdot 15,5 \text{ Вт}\cdot\text{ч},$$

где N – число проживающих в доме.
Если к этому добавить воздухообмен для кухни, то теплотери через вентиляцию могут составлять 30-60% общих.

Общие тепловые потери:
$$Q_{\text{п}} = Q_{\text{стен}} + Q_{\text{окон}} + Q_{\text{потолок}} + Q_{\text{дверей}} + Q_{\text{пол}} + Q_{\text{дверей}} + Q_{\text{вент.}}$$

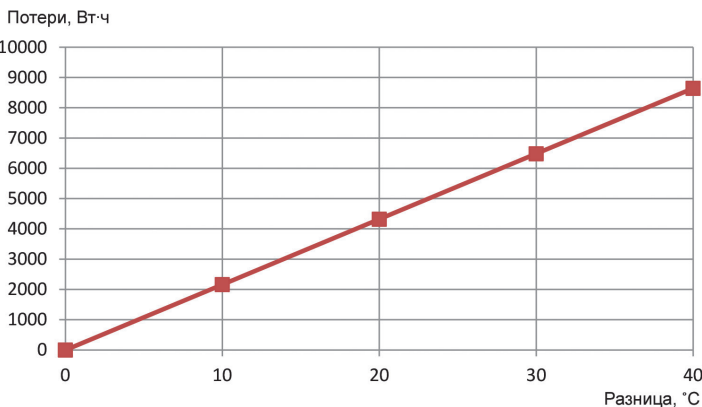


Рис. 3. Зависимость теплотери от разницы температур воздуха в помещении и уличного воздуха с открытой системой вентиляции

Таблица 2. Теплоотдача различных материалов для пола (при $\Delta T = 40^\circ\text{C}$, $T_{\text{нар.}} = -20^\circ\text{C}$, $T_{\text{внутр.}} = 20^\circ\text{C}$)

Наименование слоя	Примерная толщина слоя δ , м	Теплопроводность, λ , Вт/(м·°С)
Железобетонная плита	0,12	1,92
Асфальтобетонная стяжка	0,03	1,05
Доски, ламинат	0,02	0,1
Пенополистерол	x	0,044
Воздух $\alpha_{\text{в}}$		23
Грунт $\alpha_{\text{н}}$		8,7

По представленной методике можно определить необходимую минимальную мощность нагревательного котла [9]. Для двухэтажного дома общей площадью 150 м² при разности температур 40°С, $Q_{\text{стен}} = 1900 \text{ Вт}\cdot\text{ч}$, $Q_{\text{окон}} = 1800$, $Q_{\text{дверей}} = 530$, $Q_{\text{потолок}} = 1200$, $Q_{\text{пол}} = 1040$, что суммарно составит 6470 Вт·ч, а с учетом потерь на вентиляцию (+30%) – 8400 Вт·ч. Для определения количества затрачиваемой энергии за сутки этот показатель умножают на 24 или 720 (расход за месяц).

Зависимость необходимой мощности для компенсации тепловых потерь от разницы температуры показана на рис. 3.

Зная среднемесячную температуру в регионе, можно определить разницу температур воздуха помещения и наружного воздуха (рис. 4). Это позволяет определить по представленной методике расходы за каждый месяц [10].

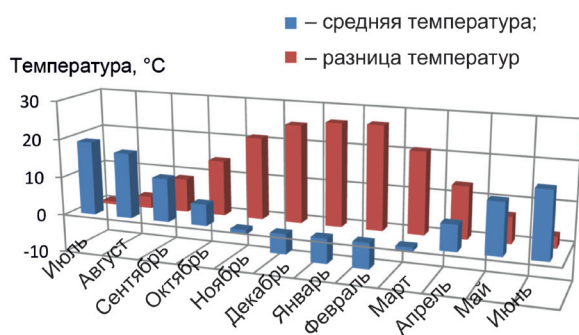


Рис. 4. Среднемесячная температура воздуха в Московской области и разница температур при внутренней температуре +20°C
(URL: https://pikabu.ru/story/pogoda_v_moskve_rekordyi_i_srednie_znacheniya_po_mesyatsam_4614530)

Для сравнения достоверности разработанной методики расчета в течение отопительного сезона проведен эксперимент и получены данные для жилого дома площадью 120 м². Температура внутри дома была ограничена значением +10-13°C и перекрыта система вентиляции. При эксперименте измерялись температуры наружного воздуха и внутри дома в трех точках, снимались показания счетчика электрической энергии (рис. 5). Максимальная разница температур составила до 28°C, что должно было равняться теплопотерям 3,5 кВт·ч, или 84 кВт·ч в сутки. Экспериментальные значения в эти дни составляли 70 кВт·ч.

Для исключения перерасхода топлива или электрической энергии необходимо наличие устройства управления нагревательным котлом, которое будет отключать его при достижении нужной температуры в помещении. Если следить только за температурой теплоносителя, может получиться перерасход электроэнергии с возрастанием температуры в помещениях. Такой момент наблюдался вначале эксперимента с 21 по 24 сентября. Далее система управления котлом контролировала температуру воздуха.

Выводы

1. Разработана система водяного отопления по однотрубной схеме с естественной циркуляцией теплоносителя, позволяющая работать при отсутствии или перерыве электро-

снабжения при использовании твердотопливного котла.

2. Предложенная методика расчета позволяет оценить необходимую мощность нагревательного котла в зависимости от площади отапливаемого помещения или частного сельского дома, применяемых строительных материалов, погодных условий и количества проживающих людей, а также потребляемую энергию посуточно и помесечно.

Список использованных источников

1. Назарова В.И. Современные системы отопления. М.: РИПОЛ классик. 2011. 320 с.
2. Климец Д.А. Сравнительный анализ систем отопления, выбор наиболее эффективной и наиболее рациональной системы отопления для частного жилого дома // Вестник науки и творчества. 2017. № 11(23). С. 23-28.
3. Белозеров В.В., Долаков Т.Б., Белозеров В.В. О безопасности и перспективах электрообогрева в индивидуальных жилых домах // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 11. С. 7-13.
4. Серяченко М.В. Модель автоматизации тепловодоснабжения жилого дома // European Journal of Natural History. 2021. № 6. С. 70-75.
5. Махов Л.М. Вопросы проектирования современных систем отопления зданий в свете новой редакции СНиП «Отопление, вентиляция и кондиционирование» // Главный энергетик. 2009. № 2. С. 44-50.
6. Крыжановский Ю.С. Исследование естественного циркуляционного давления в системах водяного отопления // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2019. № 3(207). С. 48-50.
7. Парлюк Е.П., Куриленко А.В. Методика расчета масляных радиаторов автотрак-

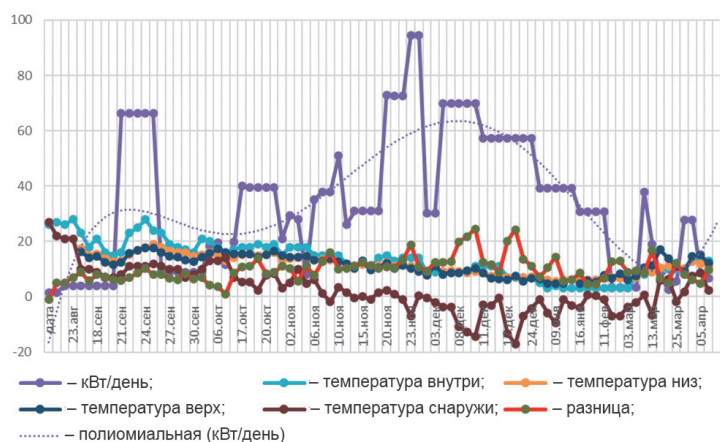


Рис. 5. Результаты экспериментальных исследований теплопотерь жилого дома

торной техники // С.-х. машины и технологии. 2022. Т. 16. № 2. С. 37-42.

8. Tikhomirov D., Vasilyev A.N., Budnikov D. et al. Energy-saving automated system for microclimate in agricultural premises with utilization of ventilation air // Wireless Networks. 2019. 1-8.

9. Иванищев Н. Профессиональное утепление дома // Промышленный электрообогрев и электроотопление. 2013. № 4. С. 44-46.

10. Султанова Г.Ф. Расчет и проектирование системы отопления частного дома при традиционном отоплении и отоплении с применением инфракрасных излучателей // Научному прогрессу – творчество молодых. 2018. № 2. С. 138-140.

11. Юфев Л.Ю. Расчет системы электрического отопления частного дома // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2022. Т. 69. № 2 (47). С. 80-85.

12. Байбаков С.А. Определение фактических характеристик и состояния систем отопления зданий // Энергетик. 2009. № 10. С. 25-29.

Study of the Electric Heating System of a Rural House

L.Yu. Yuferev
(FGBNU FNAC VIM)

Summary. The author used data on the characteristics of building materials, their resistance to heat transfer and thermal conductivity to compile a calculation method that allows to estimate the required power of a heating boiler for a rural house as well as the daily and monthly power consumption of the heating system. Single-pipe heating system with the ability to operate without a circulation pump for a private rural house especially in the central zone of the Russian Federation has been substantiated and tested.

Key words: heating, electric heating, heat loss, heat transfer resistance.

УДК 338.439 (470)

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-6-46-48

Внешние вызовы продовольственной безопасности

Д.Ю. Авельцов,
врио директора,
info@specagro.ru
(ФГБУ «Центр Агроаналитики»)

Аннотация. Анализируются внешние вызовы, встающие перед Российской Федерацией в части обеспечения продовольственной безопасности, исследуются влияние глобализации экономики, изменений в международном порядке и других факторов на сферу производства продуктов питания в контексте национальных интересов.

Ключевые слова: продовольственная безопасность, глобализация, экономика, риски, вызовы.

Постановка проблемы

Продовольственная безопасность является неотъемлемой частью национальной безопасности во многих странах, включая Россию. Однако в условиях глобализации мировой экономики при изменении международного порядка национальные интересы в аграрном секторе могут вступать в противоречие с внешнеполитическими и экономическими факторами, что создает вызовы и риски для обеспечения продовольственной безопасности.

Каждая страна, исходя из своих национальных особенностей, устанавливает собственные уровни самообеспеченности продовольствием, определяет критерии продовольственной безопасности, разрабатывает и применяет соответствующие меры для ее обеспечения. Первая редакция Доктрины продовольственной безопасности России была утверждена в 2010 г., действующая – в 2020 г. (Указ Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. № 20). В соответствии с доктриной под продовольственной безопасностью Российской Федерации понимается такое состояние экономики,

при котором обеспечивается продовольственная независимость, для каждого гражданина гарантируется физическая и экономическая доступность пищевых продуктов, соответствующих требованиям отечественного законодательства о техническом регулировании, в объемах не меньше рациональных норм потребления пищевых продуктов, необходимых для активного и здорового образа жизни.

Российская Федерация в 2023 г. достигла пороговых значений показателей продовольственной независимости по многим ключевым направлениям – зерну, растительному маслу, сахару, мясу и мясопродуктам, рыбе и рыбопродуктам. По некоторым направлениям (молоко и молокопродукты, картофель, фрукты и ягоды, соль пищевая, семена основных сельскохозяйственных культур отечественной селекции) их еще предстоит достичь.

При исследовании вопросов продовольственной безопасности различных стран анализируются принятые конкретные критерии с фактическими и прогнозными уровнями самообеспеченности продовольствием. При этом необходимо учитывать природно-климатические особенности, уровень экономического, научного развития и культурные традиции государств.

Цель исследования – изучить многообразие внешнеполитических и экономических вызовов в мире и России во взаимосвязи с проблемами обеспечения продовольственной безопасности.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования является состояние продовольственной безопасности. Для классификации внешних вызовов, детализации причин их

возникновения и возможных последствий используются сравнительный анализ, анализ причинно-следственных связей, системный анализ и историческая ретроспектива.

Информационной базой послужили публикации в научных журналах, монографии, материалы Продовольственной и сельскохозяйственной организации (Food and Agriculture Organization – FAO, ФАО) Организации Объединенных Наций (ООН), Организации экономического сотрудничества и развития (Organisation for Economic Cooperation and Development, OECD, ОЭСР), Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации, собственные исследования автора.

Результаты исследований и обсуждение

При изучении выявленной проблемы можно опираться на классификацию внешних вызовов по группам рисков. П.М. Таранов (Донской ГАУ) и А.С. Панасюк (Азово-Черноморский инженерный институт Донского ГАУ) выделяют эколого-климатические, геополитические, санитарно-эпидемиологические (особенно обострились в 2020 г. из-за COVID) и технологические риски. По оценкам экспертов Всемирного экономического форума, наиболее существенное влияние на продовольственную проблему оказывают две группы рисков – эколого-климатические и санитарно-эпидемиологические [1].

В.С. Паньков (НИУ-ВШЭ) среди самых серьезных рисков выделяет кризис управляемости мировой экономики и погодно-климатические изменения [2]. Их последствия в значительной мере затронут сферу производства продовольствия и могут прямо повлиять на темпы и объемы сельхозпроизводства.

Ученые из российского Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства установили, что из-за климатических изменений снижается количество и качество производимой продукции растениеводства, а также кормов для животноводства [3]. Ущерб сельскохозяйственным культурам и, соответственно, стабильному продовольственному снабжению стран наносят засуха, наводнения и другие бедствия. По мнению М.М. Левитина (ВНИИЗР), климатические изменения стимулируют распространение вредителей и болезней [4]. Кроме того, сельскохозяйственные животные ощущают стресс из-за погодных перепадов [5], поэтому под влиянием изменений климата могут также снижаться количество и качество животноводческой продукции. Все это может приводить к росту цен на продовольствие и снижать его доступность для населения (рис. 1).

Повышение температуры окружающей среды может привести к дополнительным трудностям с хранением продукции, считают аналитики Научно-исследовательского института проблем хранения Росрезерва

[7]. При высоких температурах воздуха из-за ускоренного роста и размножения микроорганизмов уровень продовольственной безопасности может снижаться.

Последствия COVID-19 также оказали значительное негативное влияние на мировую продовольственную безопасность, притом что целевые индикаторы целей устойчивого развития, установленных ООН на период до 2030 г., по п. 2.1 «Ликвидация голода» плохо реализовывались еще до начала эпидемии. И, как свидетельствует мировая статистика, число голодающих постоянно возрастало. Согласно оценкам ФАО, численность недоедающих в мире в 2022 г. составляла 735 млн (рис. 2), что существенно выше уровня «доковидного» 2019 г. (613 млн). Голод, недоедание, иные формы неполноценного питания продолжают быть факторами, угрожающими жизни и здоровью многих жителей Земли. Прогнозируется, что отсутствие продовольственной безопасности станет растущей проблемой в ближайшие десятилетия [8].

И.П. Чупина (РГППУ) и Н.Н. Симачова (УргЭУ) полагают, что эпидемия COVID-19 повлияла почти на все

элементы мировой агропродовольственной системы. Непринятие экстренных мер могло привести к росту вероятности появления проблемы продовольственного обеспечения на мировом уровне со всеми вытекающими последствиями [9].

Природно-климатические и санитарно-эпидемиологические риски могут быть усилены геополитическими. Последние возникают, прежде всего, из-за военно-политических конфликтов и нарастания торгово-экономической напряженности. В.П. Оболенский считал, что рост напряженности в международных торговых отношениях является предпосылкой глобальных деструктивных изменений в мировой экономике [10].

Научные исследования продовольственной проблемы в период мирового экономического кризиса 2000-х гг. свидетельствуют о том, что в странах, где наблюдался спад или замедление роста экономики, практически всегда происходил рост уровня голода [11].

Многие исследователи отмечают, что в мире появляется все больше предпосылок для возникновения глобального кризиса в области продовольственной безопасности и проблем с доступом к продуктам первой необходимости. Причем перспектива продовольственного кризиса стоит не только перед Азией, Африкой и Латинской Америкой, но и перед некоторыми промышленно развитыми странами. Международное сельскохозяйственное производство сейчас экономически нестабильно, вероятен рост цен на продукты питания, в том числе на пшеницу и кукурузу [12].

Таким образом, причинами возможного дефицита продовольствия в мире могут стать рост населения в бедных странах, экономический кризис в развитых государствах, засухи, неурожай и другие погодные катаклизмы, отставание сельхозпроизводства по уровню научно-технического развития, турбулентность государственных политик в области ценообразования на продукты питания и др.

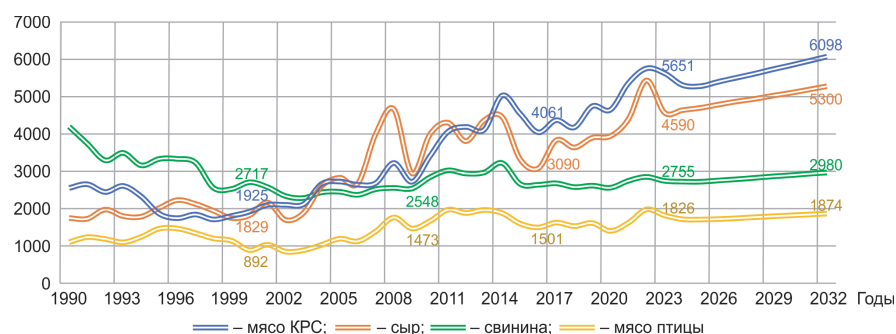


Рис. 1. Прогноз среднемировых цен на мясо и сыр, по данным ФАО-ОЭСР, долл/т [6]

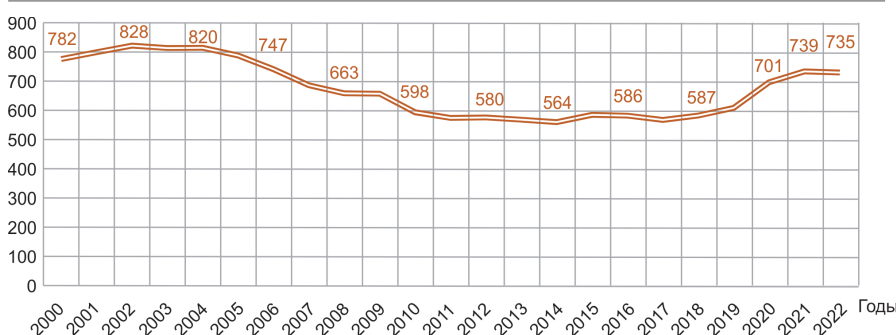


Рис. 2. Динамика средней (за трехлетние интервалы) численности недоедающего мирового населения, по данным ФАО [8]

В основе глобальной продовольственной проблемы лежит неравномерное распределение пищевых ресурсов между странами, эколого-климатические изменения на планете, санитарно-эпидемиологические различия, технологические и геополитические изменения. Что касается последних, А. Яковенко отмечает, что неустойчивость международных отношений и скачки цен на сырьевые товары могут пагубно сказываться на продовольственной безопасности стран с зависимостью от сельскохозяйственных сырьевых товаров всех типов [12].

Согласно Указу Президента Российской Федерации от 21 июля 2016 г. № 350 «О мерах по реализации государственной научно-технической политики в интересах развития сельского хозяйства», внешнеполитические и экономические факторы, влияющие на продовольственную проблему, следует учитывать комплексно, в том числе при импортозамещении в сфере производства сельскохозяйственной продукции (селекция наиболее импортозависимых сельскохозяйственных культур и генетика племенного материала сельскохозяйственных животных), а также при экспорте продукции АПК с точки зрения новых возможностей, которые открывает текущая ситуация в мире для стран-экспортеров, в частности для России [13]. Объемы производства продукции растут в стоимостном и физическом исчислении. Экспорт российской продукции АПК в 2023 г. составил 43,5 млрд долл. США. В Послании Президента Российской Федерации 24 февраля 2024 г. Федеральному Собранию поставлена задача к 2030 г. увеличить объем производства российского АПК по сравнению с 2021 г. на 25%, экспорт – в 1,5 раза.

Комплексный подход требует формирования новых архитектурных моделей продовольственной безопасности как внутри развитых стран, так и нуждающихся, что позволит последним решить проблему голода и вместе с тем получить новых надежных научно-технологических партнеров, в том числе в лице России [14].

Выводы

1. В мире под продовольственной безопасностью преимущественно понимают обеспечение населения страны физическим и экономическим доступом к безопасной, достаточной в количественном и качественном отношении пище, необходимой для ведения активного и здорового образа жизни. Она является неотъемлемой частью национальной безопасности во многих странах, включая Россию.

2. Внешние вызовы, влияющие на достижение продовольственной безопасности, можно разделить на эколого-климатические, геополитические, санитарно-эпидемиологические и технологические риски. Особую остроту в текущий момент приобрели геополитические (кризис управляемости мировой экономики) и погодноклиматические изменения (глобальное потепление).

3. Голод, недоедание, иные формы неполноценного питания продолжают быть факторами, угрожающими жизни и здоровью многих жителей Земли. При росте объемов производства сельскохозяйственной продукции, увеличении экспорта Россия может стать надежным партнером в решении проблемы продовольственной безопасности в ряде стран.

Список

использованных источников

1. Таранов П. М. Глобальная продовольственная безопасность в условиях мирового кризиса / П.М. Таранов, А.С. Панасюк // Экономика и управление: проблемы, решения. 2020. № 10. С. 134-141.
2. Паньков В.С. Кризис управляемости мировой экономики в условиях глобализации // Безопасность Евразии. 2009. № 2. С. 327-334.
3. Попов В.Д. Влияние погодных условий на качество заготавливаемых кормов из трав / В.Д. Попов, А.М. Валге, А.И. Сухопаров, В.А. Ковалев // Вест. ВНИИМЖ. 2016. № 3. С. 73-78.
4. Левитин М.М. Микроорганизмы в условиях глобального изменения климата // С.-х. биология. 2015. № 5. С. 641-647.
5. Мохов Б.П. Динамика и структура расхода обменной энергии в условиях погодного стресса // Вест. Ульяновской ГСХА. 2014. № 2. С. 119-126.
6. OECD/FAO (2023), OECD-FAO Agricultural Outlook 2023-2032, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/08801ab7-en>.

7. Гурьева К.Б. Исследование влияния температурных режимов хранения на показатели сохранности и технологические показатели пшеницы / К.Б. Гурьева, С.Л. Белецкий, Н.А. Хаба, О.С. Шилкова // Хранение и переработка сельхозсырья. 2020. № 2. С. 8-21.

8. Положение дел в области продовольственной безопасности и питания в мире в 2023 году [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fao.org/documents/card/ru?details=cc3017ru> (дата обращения: 02.04.2024).

9. Чупина И.П. Влияние пандемии коронавируса на мировую сельскохозяйственную деятельность / И.П. Чупина, Н.Н. Симачкова // РППЭ. 2021. № 1. С. 47-53.

10. Оболенский В.П. Рост напряженности в международной торговле: риски для России // Вестн. ин-та экономики РАН. 2019. № 3. С. 92-106.

11. Близнюк Т.А. Сущность ценовой политики и ее влияние на доходность предприятия / Т.А. Близнюк, О.М. Шупило // Modern Science. 2021. № 3-1. С. 53-59.

12. Доклад Национального координатора России по реализации решений Саммита ООН по продовольственным системам. Дипломатическая академия МИД России. 2022 г. [Электронный ресурс]. URL: https://www.dipacademy.ru/documents/4981/%D0%94%D0%9E%D0%9A%D0%9B%D0%90%D0%94_%D0%A0%D0%A3%D0%A1%D0%A1.pdf (дата обращения: 15.03.2024).

13. Авельцов Д.Ю. Рынок мяса и мясной продукции: состояние и перспективы в России и мире // Птица и птицепродукты. 2022. № 1. С. 19-20. EDN HPRWZJ.

14. Авельцов Д. Ю. Перспективные направления развития системы управления зерновым хозяйством России // Управление рисками в АПК. 2023. № 4(50). С. 9-19. DOI 10.53988/24136573-2023-04-01. EDN ZJFCMU.

External Challenges to Food Security D.Yu. Aveltsov

(FGBU "Agroanalytics Center")

Summary. The article deals with the external challenges facing the Russian Federation in terms of ensuring food security, the influence of globalization of the economy, changes in the world in terms of the centers of power and other factors on the food production in the context of national interests.

Key words: food security, globalization, economics, risks, challenges.