ISSN 2078-7138 (Print)
ISSN 2078-7146 (Online)
DOI: 10.56619/2078-7138-2026-175-3

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ РАБОТНИКОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

АГРОПАНОРАМА

№ 3
июнь
2026

В номере:

Комплексный подход к аппликации рабочих растворов пестицидов в растениеводстве

Совершенствование ранней диагностики мастита у коров на основе интеграции цифровых технологий и методов искусственного интеллекта в условиях молочного производства Республики Беларусь

Современные мировые тенденции развития масложировой промышленности



XXXVI МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА «БЕЛАГРО – 2026»



С 2 по 6 июня в Минском международном выставочном центре проходила 36-я международная специализированная выставка «БЕЛАГРО». Этот аграрный форум ежегодно собирает вместе не только белорусских аграриев, ученых, представителей сельскохозяйственного машиностроения, пищевой и перерабатывающей промышленности, но и их зарубежных коллег и партнеров. В 2026 году в работе выставки приняли участие 575 организаций, фирм и компаний из 14 стран мира.

Белорусский государственный аграрный технический университет постоянный участник выставки. В этом году на стенде нашего университета были представлены роллетные баннеры и мультимедийная презентация с информацией о структуре и истории университета, учебной, научно-исследовательской работе и научных разработках ученых БГАТУ, макетные образцы оборудования для диагностирования технического состояния топливной аппаратуры дизельных двигателей, макет заземляющего контура, демонстрирующего новый способ обработки грунта при монтаже заземляющих устройств, а также монографии, учебники и научно-практические рекомендации, авторами которых являются работники университета.

В рамках «БЕЛАГРО – 2026» в БГАТУ состоялась международная научно-практическая конференция «Современные тенденции развития сельскохозяйственного машиностроения и технического сервиса в АПК». В конференции приняли участие работники университета, представители научных школ, производственных предприятий, органов управления агропромышленного комплекса из Беларуси, России, Узбекистана, Казахстана, Китая. Обсуждался широкий круг вопросов, среди которых цифровизация, интеллектуальная система мониторинга, адаптивные конструкции, сервисно-ориентированные модели эксплуатации, подготовка кадров нового поколения. У стенда нашего университета проведен семинар для руководителей и специалистов предприятий агросервисов и автомобильных парков по оборудованию для диагностирования форсунок Common Rail.

Институт повышения квалификации и переподготовки кадров АПК БГАТУ провел международную научно-практическую конференцию «Агропромышленный комплекс в условиях инновационного развития: наука, технологии, кадровое обеспечение», в работе которой приняли участие представители Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, работники ведущих образовательных и научных аграрных центров Беларуси, России, экспертные группы из стран ШОС и СНГ, представители научного сообщества из Узбекистана, Казахстана, Азербайджана, руководители и специалисты экономических и инженерных подразделений белорусских сельскохозяйственных предприятий и холдингов.

В период проведения выставки ученые и преподаватели университета приняли участие в республиканской научно-практической конференции «Аграрное образование и наука для агропромышленного комплекса», организованной Министерством сельского хозяйства и продовольствия. На пленарном заседании с научными докладами выступили: доктор экономических наук, профессор Н.В. Киреенко, доктор технических наук, профессор В.П. Чеботарев, кандидат технических наук, доцент Т.А. Непарко, кандидат экономических наук, доцент А.Л. Косова.

Традиционно, с целью совершенствования профессионального мастерства и практических навыков мастеров производственного обучения, студентов и учащихся учреждений образования аграрного профиля, повышения их знаний в вопросах использования современной техники, а также с целью выявления и поддержки одаренной и талантливой сельской молодежи, на базе БГАТУ прошел республиканский смотр-конкурс «Лучший пахарь». Победителем в личном зачете среди обучающихся учреждений образования стал студент 4 курса нашего университета Козак Олег. Лучший результат среди девушек показала студентка БГАТУ Марина Данилик.

Стенд университета посетили руководители и главные инженеры предприятий РО «Белагросервис», ОАО «Амкодор», ОАО «Гомсельмаш», ОАО «МТЗ», а также представители министерств сельского хозяйства, руководители аграрных учреждений образования и специалисты научно-производственных центров из более чем 18 регионов России, представители технологических и образовательных компаний Китая, бизнес-делегации из Султаната Оман, Мьянмы, Турции, ОАЭ и других государств.

За активное участие в организации мероприятий в период проведения 36-й международной специализированной выставки «БЕЛАГРО», представление и популяризацию аграрного образования на примере университета иностранным делегациям Белорусский государственный аграрный технический университет награжден двумя дипломами Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь.

АГРОПАНОРАМА 3 (175) июнь 2026

Издается с апреля1997 г.

Научно-технический журнал
для работников
агропромышленного комплекса.
Зарегистрирован в Министерстве
информации Республики Беларусь
21 апреля 2010 года.
Регистрационный номер 1324

Учредитель
Белорусский государственный
аграрный технический университет

Главный редактор
Николай Николаевич Романюк

Заместитель главного редактора
Михаил Александрович Прищепов

Редакционная коллегия:

Л.С. Герасимович
П.П. Казакевич
В.М. Капцевич
А.Н. Карташевич
Н.В. Киреенко
И.П. Козловская
И.С. Крук
А.С. Сайганов
В.Н. Тимошенко
Н.К. Толочко
В.П. Чеботарёв
Н.С. Яковчик

Е.В. Сенчуров – ответственный секретарь
Н.И. Цындрина – редактор

Компьютерная верстка
В.Г. Леван

Адрес редакции:
БГАТУ, пр-т Независимости, 99/1, к. 220
220012, г. Минск, Республика Беларусь,
Тел. (+375 17) 272-47-71
Тел./факс (+375 17) 258-41-16

Прием статей и работа с авторами:
г. Минск, пр-т Независимости, 99/5, к. 602, 608
Тел. (+375 17) 385-91-02, 355-22-14
E-mail: AgroP@bsatu.by

БГАТУ, 2026.
Формат издания 60 х 84 1/8.
Подписано в печать с готового оригинала-макета 25.06.2026 г. Зак. № 407 от 24.06.2026 г.
Дата выхода в свет 30.06.2026 г.
Печать офсетная. Тираж 60 экз.
Статьи рецензируются.
Отпечатано в ИПЦ БГАТУ по адресу: г. Минск, пр-т Независимости, 99/2
ЛП № 02330/316 от 30.10.2020 г.
Выходит один раз в два месяца.
Подписной индекс в каталоге «Белпочта» - 74884.
Стоимость подписки на журнал на 1-е п/г 2026 г.: для индивидуальных подписчиков - 61,68 руб.; ведомственная - 63,63 руб.;

При перепечатке или использовании публикаций согласование с редакцией и ссылка на журнал обязательны. Ответственность за достоверность рекламных материалов несет рекламодатель.

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственное машиностроение. Металлообработка

И.С. Крук
Комплексный подход к аппликации рабочих растворов пестицидов в растениеводстве.....2

В.П. Чеботарев, Н.П. Гурнович, Г.А. Радишевский, Д.Н. Бондаренко
Солома как альтернативный вид топлива для сушильных агрегатов.....9

Технологии производства продукции растениеводства и животноводства. Зоотехния

И.Н. Казаровец, А.В. Мартынов
Совершенствование ранней диагностики мастита у коров на основе интеграции цифровых технологий и методов искусственного интеллекта в условиях молочного производства Республики Беларусь.....14

Энергетика. Транспорт

О.В. Бондарчук, Ю.Н. Селюк, А.В. Гуд
Разработка математической модели ресурса изоляции электродных секций электроактиватора.....20

Технический сервис в АПК. Экономика

В.К. Корнеева, В.М. Капцевич, В.В. Остриков, Е.Е. Пернач, И.С. Королец
Методы оценки экспериментальных результатов экспресс-тестирования моторных масел, основанные на использовании программного комплекса *IMAGEJ*.
Часть 8. Методика бесприборной оценки цвета нефтепродуктов на основе шкалы *ASTM D 1500*.....27

В.Е. Тарасенко, Ю.Н. Боженков, А.Н. Монтик, П.А. Гаврукович
Анализ ремонтно-восстановительных составов по компонентному наполнению, физико-химическим процессам их взаимодействия с трущимися поверхностями и механизму функционирования.....32

А.А. Гончарова
Современные мировые тенденции развития масложировой промышленности.....40

Лю Сюэпин
Методика комплексной оценки ресурсного потенциала агроэкотуризма с учетом трансформации экономики.....45

УДК 631.348.45
https://doi.org/10.56619/2078-7138-2026-175-3-2-8

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К АППЛИКАЦИИ РАБОЧИХ РАСТВОРОВ ПЕСТИЦИДОВ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

И.С. Крук,
проректор по научной работе БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Широкое применение химических средств защиты растений и постоянно расширяющийся их ассортимент предъявляют возрастающие экологические и агротехнические требования к качеству их внесения. Всестороннее исследование внесения рабочих растворов пестицидов в растениеводстве имеет важное значение при исключении экологических последствий использования средств защиты растений (СЗР), связанных с потерями вследствие испарения и сноса ветром, а также является основой при разработке различных типов распылительных и распределительных устройств, обосновании рациональных конструктивных, технологических и эксплуатационных параметров сельскохозяйственных опрыскивателей. В статье предложен комплексный подход к внесению СЗР, основанный на всестороннем анализе взаимодействия взаимосвязанных внешних и внутренних факторов при последовательном выполнении этапов подготовки, приготовления и опрыскивания в системе «опрыскиватель – обрабатываемый объект – окружающая среда».

Ключевые слова: пестициды, капля, химическая защита растений, опрыскиватель, агротехнические требования.

The widespread use of chemical plant protection products, along with their ever-expanding range, places increasingly stringent environmental and agronomic requirements for the quality of their application. A comprehensive study of applying pesticide working solutions in crop production is crucial for mitigating the environmental impacts of plant protection products (PPPs) associated with losses due to evaporation and wind drift. It also serves as the foundation for designing various types of spraying and distribution equipment, as well as for establishing rational design, technological, and operational parameters for agricultural sprayers. The article proposes a comprehensive approach to applying plant protection products, based on a thorough analysis of the interactions between related external and internal factors during the sequential stages of preparation, mixing, and spraying within the "sprayer – target object – environment" system.

. Keywords: pesticides, droplet, chemical plant protection, sprayer, agrotechnical requirements.

Введение

Применение средств химизации в растениеводстве является одним из основных условий получения стабильно высоких урожаев сельскохозяйственных культур. Своевременное и качественное проведение операций защиты растений позволяет сохранить 30…50 % урожая [1-3]. Однако пестициды являются высокотоксичными и опасными для природы и ее обитателей соединениями, необоснованное и нерациональное использование которых, а также некачественное и несвоевременное их внесение могут повлечь дополнительные экономические затраты и экологические последствия. Особенно вредоносным может оказаться несоблюдение доз, некачественное, с большими потерями из-за сноса внесение гербицидов сплошного действия, когда поражаются, угнетаются или погибают растения на соседних полях, не нуждающихся в обработке. Поэтому в современных технологиях возделывания особое внимание уделяется срокам и качеству внесения СЗР с минимальными потерями препаратов.

Термин «аппликация» подразумевает нанесение рабочей жидкости (раствора) на почву, растение или вредоносный организм путем опрыскивания (распыления) [2]. Ее основой являются процессы подготовки, распыления и распределения рабочих растворов пестицидов по поверхностям целевого объекта обработки. Основным методом внесения средств защиты в растениеводстве является малообъемное опрыскивание с нормами внесения рабочих растворов пестицидов 50-200 л/га. При этом основными рабочими элементами опрыскивающей аппаратуры, выполняющими дробление жидкости, являются гидравлические распылители различных конструкций и исполнений, при использовании которых образуются полидисперсные факелы распыла с размерами капель 10-600 мкм (коэффициент полидисперсности фракционного состава капель спектра распыла находится в пределах 4-6 в зависимости от типоразмера распылителя и рабочего давления) [4]. При использовании стандартных щелевых распылителей образуются капли, медианно-массовый диаметр которых составляет 210-270 мкм, а инжекторных – 400-600 мкм. Это оказывает суще-

ственное влияние на закономерности процессов падения, взаимодействия и осаждения капель на целевом объекте, определяет величину их потерь вследствие испарения, сноса воздушными потоками и ветром из зоны обработки и выноса за пределы обрабатываемых участков, стекания и скатывания крупных капель с листьев растений на почву, а, следовательно, и эффективность проводимых операций защиты растений.

Вопросы распыления и осаждения капель различных рабочих жидкостей рассматривались в научных работах Броунштейна Б.И., Вульфа Т., Гордеенко О.В., Дмитрачкова В.П., Келбалиева Г.И., Клочкова А.В., Кот Т.П., Лысова А.К., Маркевича А.Е., Нагорского И.С., Никитина Н.В., Ньюттенса Д., Ольшевского В.П., Рогова В.П., Севрикова В.В., Спиридонова Ю.Я., Степука Л.Я., Фишбейна Г.А., Шестакова В.Г. и других. Исследования взаимосвязи факторов, влияющих на процесс аппликации химических СЗР, представлены в исследованиях научного коллектива под руководством Шпаара Д. [2] Однако комплексный подход, позволяющий сформировать целостное представление об аппликации рабочих растворов пестицидов с учетом всех воздействующих факторов, до конца не реализован.

Цель работы – обосновать комплексный подход к аппликации рабочих растворов пестицидов, основанный на взаимосвязанном воздействии технологических, экономических, экологических и метеорологических факторов, определяющих эффективность операций химической защиты растений от вредителей, болезней и сорняков.

Основная часть

Аппликация является сложной технологией внесения СЗР, состоящей из последовательно выполняемых процессов приготовления рабочих растворов, их распыления, движения воздушно-капельных потоков в окружающей среде, взаимодействия и осаждения на обрабатываемых поверхностях целевых объектов обработки. Качество выполнения каждого этапа (стадии) определяет эффективность достижения конечного результата, которая влияет на количество последующих операций химической защиты растений, объем и экологические свойства конечной продукции.

Стадия 1. Исходная информация. Наличие необходимой начальной информации и исходных данных является основой для получения достоверных результатов на каждом этапе аппликации рабочих растворов пестицидов. При этом определяется целевой объект, его состояние и вид обработки, которые обосновывают выбор пестицидов, их дозу, особенности приготовления рабочих растворов. Важным аспектом является условие совместимости различных препаратов и возможность одновременного их внесения. Агротехникой возделывания определены диаметры капель, при которых тот или иной вид пестицидов наиболее эффективен: для почвенных гербицидов – не более 300 мкм, для гербицидов контактного действия, инсектицидов и фунгицидов – не более 200 мкм. Эффективность применения СЗР определяется своевременностью их внесения, состоянием окружающей среды и метеорологическими условиями. Последние могут вносить коррективы в сроки проведения технологических операций и определять их качество. Например, при борьбе с некоторыми видами вредителей на последних стадиях их развития эффективная доза препарата может превышать начальную в 100…300 раз. При наличии ветра для снижения величины потерь из-за сноса рекомендуется использовать опрыскиватели с системами воздушного сопровождения капель или устанавливать распылители со сниженным дрейфом или инжекторные. При использовании инжекторных распылителей количество мелких капель в факеле распыла снижается в 2-3 раза (до 4-5 %), что обеспечивает снижение сноса на 75…90 %, а использование опрыскивателей с воздушным сопровождением – на 90…95 % [5]. Совместное использование таких технических решений позволяет усилить данный эффект и обеспечить большую площадь покрытия вследствие додрабливания капель воздушной струей и увеличением энергии их удара о поверхность. Увеличение в два раза скорости воздушной струи во столько же раз уменьшает медианно-массовый диаметр капель. Условия проведения операций химической защиты растений определяют технологические, кинематические и эксплуатационные параметры опрыскивателей.

Стадия 2. Приготовление рабочих растворов. Современные конструкции опрыскивателей оснащены системами приготовления рабочих растворов и обеспечения их требуемой концентрации в процессе внесения. Эффективность их работы определяет концентрацию химических препаратов в получаемых каплях, что оказывает влияние на биологическую эффективность и токсичность обработки. В капле диаметром 20 мкм содержание действующего вещества составляет 0,08 мг, в капле 50 мкм – 1,3 мг, 100 мкм – 10,4 мг, а 300 мкм – 280 мг [2]. Поэтому к поддержанию необходимой концентрации рабочего раствора в процессе внесения предъявляется повышенное требование. Согласно агротехническим требованиям, отклонение концентрации рабочего раствора пестицидов должно находиться в пределах ±5 %.

Стадия 3. Внесение. Наиболее важным и влияющим на качество выполнения технологических операций защиты растений является этап непосредственного внесения. Именно здесь сказывается существенное влияние состояния окружающей среды, поверхности поля, метеорологических и начальных условий формирования факела распыла на закономерности движения и осаждения капель. Диспергирование жидкости и движение капель в воздушной среде являются сложными взаимосвязанными процессами, закономерности протекания которых определяют большое количество управляемых и неуправляемых взаимосвязанных между собой факторов, оценить степень влияния некоторых из них в полной мере не представляется возможным, как при теоретическом моделировании, так и при проведении экспериментов в лабораторных и полевых условиях. Зачастую их ограничивают, либо ими пренебрегают. Поэтому в

большинстве случаев результаты определения кинематических параметров движения капель и величины потерь рабочих растворов, полученные при теоретических, лабораторных и полевых исследованиях, различаются многократно.

Капли рабочего раствора пестицидов при движении от распылителя до обрабатываемой поверхности при идеальных метеорологических условиях и состоянии окружающей среды проходят следующие стадии движения: вылет из сопла распылителя струи и ее распад на капли; формирование факела распыла; движение капель в окружающей воздушной среде (начальное неравномерное движение, падение с постоянной скоростью (скорость витания)); движение в приповерхностном слое; движение в растительном (послевсходовые обработки) слое; взаимодействие с обрабатываемыми поверхностями и осаждение на них.

На процесс диспергирования рабочей жидкости оказывают влияние многие факторы, основными из которых являются:

– физико-механические свойства жидкости (вязкость, плотность, поверхностное натяжение);

– технологические параметры (тип, параметры и форма выходного сопла распылителя, давление в напорной жидкостной магистрали, рабочая скорость агрегата), определяемые распыливающими рабочими органами и настройками опрыскивающей аппаратуры;

– состояние окружающей среды (влажность, плотность, атмосферное давление).

Из сопел гидравлических распылителей вылетают струи жидкости, сформированные в виде пленок (рис. 1), геометрические размеры которых определяются конструкцией и параметрами рабочих элементов распылителей, а также рабочим давлением в напорной жидкостной магистрали. Через некоторый период времени пленки проходят фазу распада $h_ф$, после чего образуются капли различных диаметров, которые формируют факел распыла и движутся с различными скоростями в направлении обрабатываемого объекта, находящегося на расстоянии $h_к$. В результате проведенных лабораторных исследований было отмечено, что на продолжительность фаз и геометрические параметры струи (длина и ширина) и факела распыла (угол при вершине) оказывают влияние: тип распылителя, параметры его выходного сопла, давление в нагнетательной магистрали. Так, для распылителей СТ 110.03, СТ 110.04, Albuz ATR 80, РД 1.6 увеличение давления в гидравлической магистрали приводит к увеличению угла при вершине факела распыла, уменьшению (для РД 1.6 не изменяется) времени распада струи, изменению длины и ширины струи. При этом распад струи в зависимости от давления в нагнетательной магистрали для исследованных распылителей начинается на расстоянии 10…40 мм от выходного сопла [6]. Движение образовавшихся капель в факеле распыла условно можно разделить на две стадии: неустановившийся режим (связанный с изменением скорости движения) и установившийся – падение с постоянной скоростью (скорость витания) движения. При постоянно изменяющихся факторах окружающей среды и метеорологических условиях, процесс падения можно рассматривать как нестационарный. При этом формируются следующие области движения (рис. 2): осаждение капель в одиночном факеле распыла 2, снос мелких капель в межфакельные 3 и боковое 4 пространства, факел сносимых ветром крупных капель 5, движение капель в зоне пересечения соседних факелов распыла 6.

Скорости вылета капель из области распада струи имеют различные величины и находятся в пределах 10…25 м/с. При этом капли более 70 мкм на расстоянии 0,04 м от сопла (область распада струи) имеют скорость 16…18 м/с, а капли менее 70 мкм – 10…12 м/с [9]. Капля диаметром 100 мкм при начальной скорости 20 м/с пролетает за 0,1 с 0,2 м, а затем переходит во взвешенное состояние и подвергается воздействию внешних климатических условий. Капля диаметром 200 мкм достигает своей конечной скорости падения через 0,2 с, за которое пролетает 0,625 м [10]. При отсутствии ветра капли диаметром 100 мкм падают со скоростью 0,26 м/с, а 80 мкм – 0,17 м/с. Кроме этого, при работе на повышенных скоростях капли рабочего раствора пестицида подвергаются дополнительному воздействию набегающего потока воздуха, создаваемого движущимся агрегатом. Так, при рабочей скорости опрыскивателя 8 км/ч на капли действует воздушный поток скоростью 2 м/с, а при вероятной скорости 30 км/ч – уже

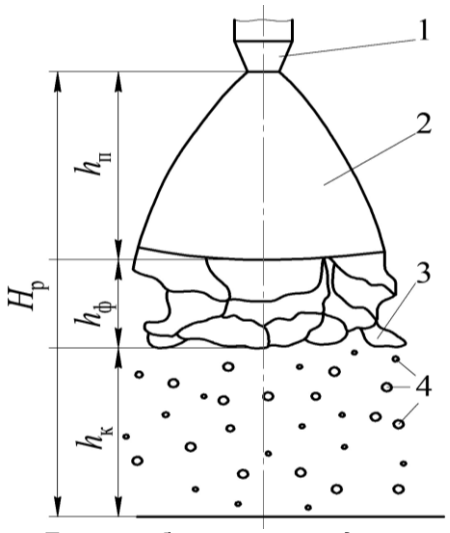


Рисунок 1. Процесс образования и падения капель [2]: 1 – распылитель; 2 – пленка жидкости; 3 – распадающаяся пленка; 4 – капли факела распыла; $H_р$ – высота установки распылителя над обрабатываемой поверхностью; $h_п$ – высота пленки струи жидкости; $h_ф$ – высота фазы распада пленки; $h_к$ – высота падения капель

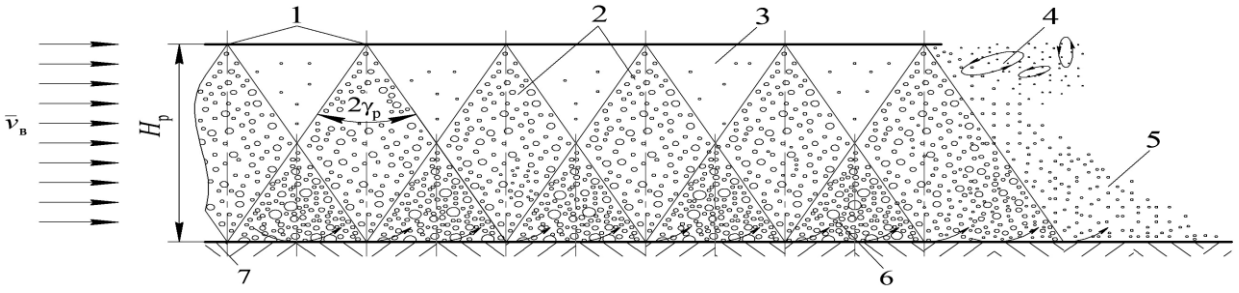


Рисунок 2. Схема движения капель в факелах распыла гидравлических распылителей полевого штангового опрыскивателя: 1 – распылитель; 2 – факел распыла; 3 – межфакельное пространство; 4 – зона воздушного выноса капель; 5 – зона сноса капель ветром; 6 – зона перекрытия соседних факелов; 7 – обрабатываемый объект

8 м/с [3; 11]. При недостаточно выровненной поверхности поля работа на повышенных скоростях приводит (при неэффективной системе стабилизации) к возникновению колебаний штанги, как в горизонтальной, так и вертикальной плоскостях. В условиях хорошо выровненной поверхности амплитуда колебаний краев штанги длиной 12 метров составляет ±0,20 метра. Это влечет изменение начальных условий вылета капель из сопел распылителей, закономерностей их движения в факелах распыла и осаждения на обрабатываемые поверхности.

Кроме того, возникает вероятность потерь пестицидов вследствие испарения и сноса капель ветром. Для данной стадии аппликации характерно большое количество теоретических исследований и зависимостей, определяющих кинематические параметры движения капель в окружающей среде [12].

Нестабильность окружающей воздушной среды является одной из основных причин возникновения потерь рабочих растворов пестицидов. Ветер и создаваемые им турбулентные восходящие потоки (вертикальная скорость воздушного потока составляет около 1/10 средней горизонтальной скорости) могут выносить капли не только за пределы обрабатываемой полосы, но и за пределы обрабатываемого поля. Различными исследователями отмечено, что при проведении мелкокапельного опрыскивания при скорости ветра 1,0…4,0 м/с количество рабочего раствора, осевшего за пределами обрабатываемого участка, возрастает в 2…6 раз. При этом увеличение диаметра капель с 200 до 306 мкм позволяет сократить количество осевшего за пределами обрабатываемого участка рабочего раствора в два раза.

Турбулентные потоки приводят в движение теплый приземной поток, который, поднимаясь, увлекает за собой почвенные частицы. Они встречаются и взаимодействуют с крупными каплями, движущимися в факелах распыла. Полученные при этом новые образования оседают либо на растениях, либо на поверхности поля, снижая эффективность обработки.

При внесении рабочих растворов пестицидов штанговыми рабочими органами факелы распыла, образуемые соседними распылителями, пересекаются, создавая условия для дополнительного взаимодействия капель между собой, вызывая их деление (дробление) или слияние (рис. 2). Эти явления особенно важно учитывать при исследовании процесса осаждения капель на обрабатываемые поверхности. С одной стороны, мелкодисперсный распыл позволяет покрыть препаратом большую площадь целевого объекта, исключить потери из-за стекания и скатывания, а с другой – приведет к их увеличению вследствие испарения мелких капель в окружающий воздух, сноса и выноса ветром [3]. Относительная скорость испарения капель удваивается, если относительная влажность воздуха снижается с 95 до 85 %, с 85 до 70 %, с 70 до 45 %, с 45 до 0 % или при каждом повышении температуры воздуха на 10 °С в пределах от 10 до 30 °С. Поэтому требуемый дисперсный состав капель распыла для каждой конкретной технологической операции химической защиты растений является основным условием оптимизации процесса опрыскивания. Важными условиями на данном этапе являются: правильное определение расстояния, на котором происходит распад струи, размеров образующихся капель, и их начальных скоростей, геометрических параметров факелов распыла, а также оценка степени влияния на закономерности их движения метеорологических условий и состояния окружающей среды.

Стадия 4. Оседание капель на обрабатываемые поверхности целевых объектов. На закономерности осаждения (взаимодействия) на обрабатываемой поверхности капель влияют процессы их движения в около растительном и растительном слоях. Основным условием эффективности процесса осаждения капли на обрабатываемой поверхности является достаточная величина ее количества движения, определяемого скоростью и размерами, позволяющая противодействовать всем внешним факторам. Следует отметить, что величина конечной скорости падения капель зависит от их диаметра. Так, капли диаметром 10 мкм падают со скоростью 0,003 м/с, 20 мкм – 0,012 м/с, 50 – 0,07, 100 – 0,26, 200 – 0,72, 500 – 2,2, 1000 мкм – 4,0 м/с. При движении капель в около растительном слое следует учитывать воздействие восходящих воздушных потоков и фактор снижения скорости ветра. При движении в растительном слое учитываются стадии развития растений, их степень облиственности (пористость), скорость и направление турбулентных потоков и другое. Данные процессы оказывают существенное влияние на закономерности оседания капель на органы растений.

Одними из основных параметров обработки растений является степень и густота покрытия их поверхностей. На поверхностях целевого объекта обработки оседает от 40 до 90 % рабочего раствора. Эффективность химических обработок наступает при степени покрытия целевой поверхности не менее 0,5-1 % для гербицидов, 2,0-3,0 % – для инсектицидов и фунгицидов [3]. Для большинства довсходовых гербицидов достаточно 20 капель на 1 см^2 целевого объекта, для послевсходовых – 30…40 капель. Биологический эффект при обработке фунгицидами и инсектицидами обеспечивается при густоте покрытия 50…70 капель на 1 см^2. При этом при работе штанговых опрыскивателей должно обеспечиваться покрытие 80 % верхней и 60 % нижней листовой поверхности [3; 6, 7].

Необходимо отметить, что для каждого конкретного случая существует свой оптимальный размер капель, зависящий от многих факторов: вида растения, его состояния, применяемого препарата, интенсивности сноса частиц ветром, рассеивания их в приземном слое атмосферы, испаряемости рабочей жидкости, смачиваемости листовой поверхности, размеров обрабатываемого участка и пр. Например, установлено, что капли диаметром 250…400 мкм и более скатываются и стекают с поверхностей листьев и оседают на почву, загрязняя ее [3, 4]. Такой диапазон в размерах показывает, что исследования проводились в различных условиях и при различном состоянии обрабатываемых поверхностей и физико-механических свойств рабочей жидкости. Данный параметр определен при падении единичной капли.

Многочисленными исследованиями установлено, что содержащиеся в спектре факела распыла капли больших диаметров при взаимодействии с обрабатываемыми поверхностями могут распадаться на более мелкие за счет силы удара, увеличивая степень покрытия [4; 9]. Данный эффект, основным условием которого является превышение кинетической энергии капли над ее энергией поверхностного натяжения, наблюдается в зависимости от состояния поверхности, свойств жидкости и параметров падения при диаметрах капель, превышающих 200 мкм [4]. Наиболее подвержены дроблению при ударе об обрабатываемую поверхность капли, генерируемые инжекторными распылителями [7].

В реальности существуют условия, при которых лист совершает дополнительные колебательные движения, вызванные воздействием ветра, восходящих от земли потоков воздуха, «бомбардировкой» первых оседающих капель факела распыла, направленного воздушного потока (при использовании искусственно создаваемых струй воздушного сопровождения капель факела распыла). Последующие капли будут падать на колеблющиеся листы и взаимодействовать с движущейся навстречу или от них поверхностью (рис. 3). При этом должны учитываться закономерности формирования и гидродинамическая структура воздушно-капельного потока, воздействие различных сил, взаимодействие капель между собой и окружающей средой, физико-химические свойства рабочего раствора и окружающей среды, движение восходящих потоков, возникающие инверсии и другие факторы.

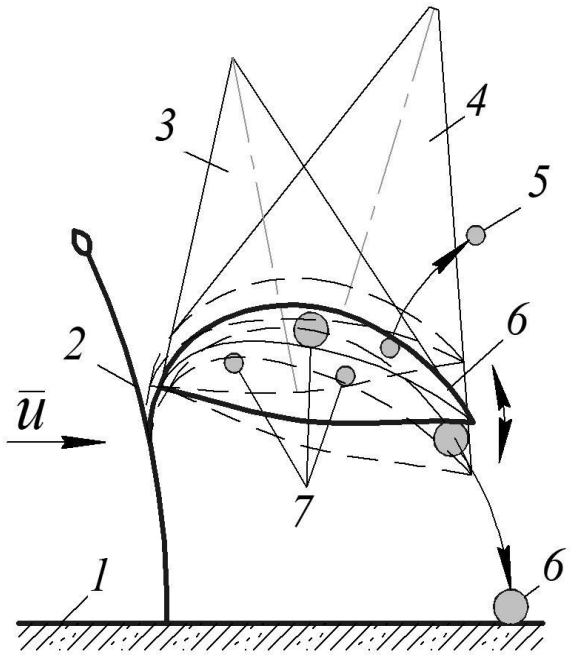


Рисунок 3. Схема воздействия факторов при осаждении капли на листе растения: 1 – поверхность поля, 2 – целевой объект обработки (растение), 3 – факел распыла пестицида, 4 – направленная воздушная струя (опрыскиватели с воздушной транспортировкой капель), 5 – отброшенная листом капля; 6 – скатившаяся с листа и осевшая на почву капля; 7 – капли, осевшие на листе.

Стадия 5. Эффективность обработки. На заключительном этапе проводятся экономическая, биологическая, экологическая, агротехническая оценки проведенной операции и делается вывод о ее эффективности и целесообразности. Поэтому на данном этапе выполняются физические и биологические измерения, экологические измерения и наблюдения. Физические измерения заключаются в определении показателей [6; 13], определяемых агротехническими требованиями к качеству выполнения технологического процесса, биологическая оценка определяет степень снижения вредоносных факторов и в изменении урожая. Экологические наблюдения отражают последствия проведения технологической операции для окружающей флоры и фауны (повреждение растений соседних полей, наличие остаточных количеств химикатов в сточных водах, соседних водоемах и другие).

На основе данного анализа обоснован комплексный подход к внесению рабочих растворов пестицидов полевыми штанговыми опрыскивателями, который можно представить в виде схемы взаимодействия факторов, влияющих на количественные и качественные показатели внесения эффективности средств защиты растений на различных стадиях аппликации (рис. 4).

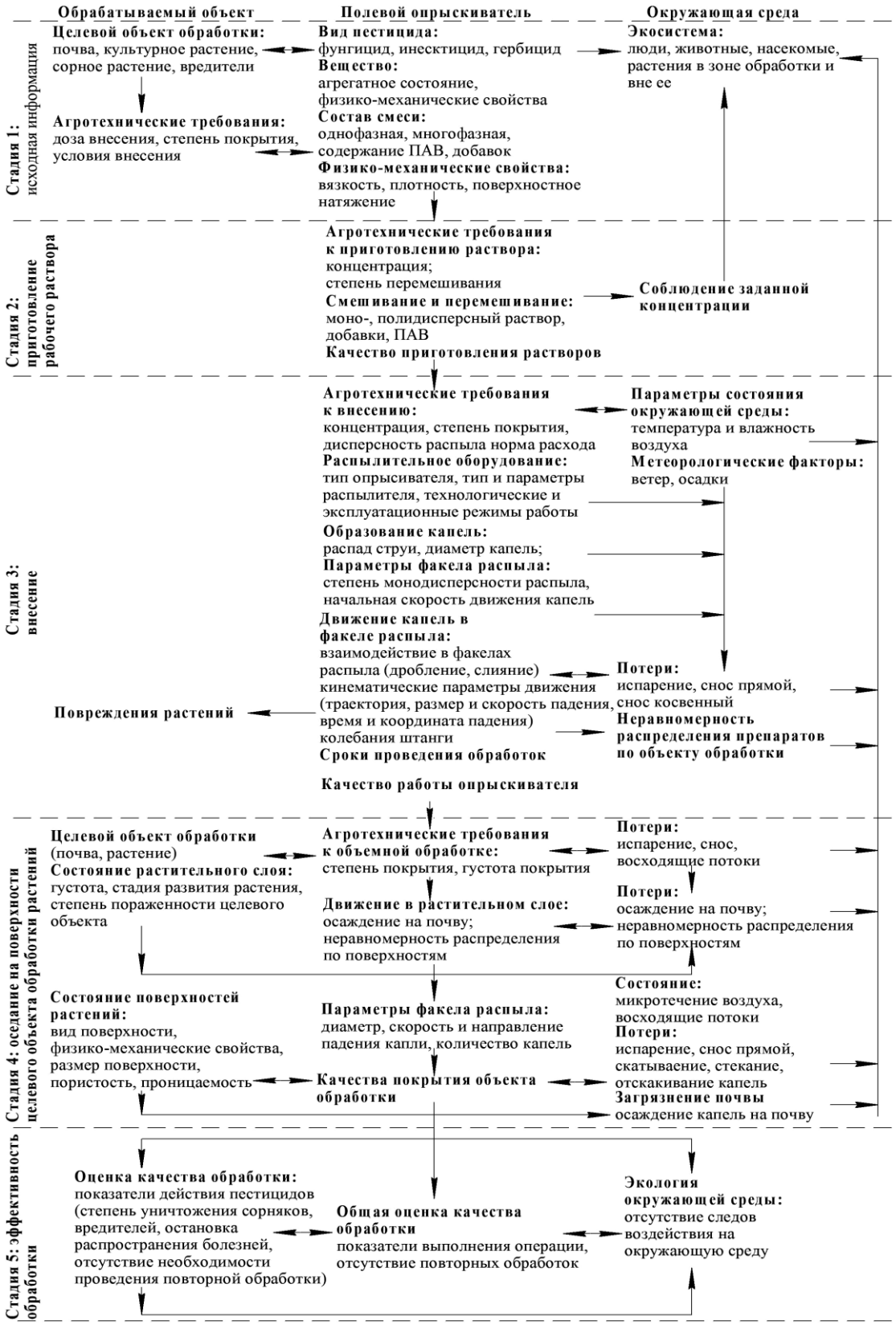


Рисунок 4. Схема комплексного подхода к аппликации рабочих растворов пестицидов полевыми штанговыми опрыскивателями

Заключение

В результате всестороннего анализа последовательных этапов, составляющих аппликацию пестицидов в растениеводстве, их начальные условия и конечные результаты, и факторов, влияющих на качество и эффективность проведения технологических операций, обоснован комплексный подход к внесению рабочих растворов пестицидов полевыми штанговыми опрыскивателями. Разработана схема взаимодействия факторов, влияющих на количественные и качественные показатели эффективности средств защиты растений на различных стадиях аппликации, в системе «опрыскиватель – обрабатываемый объект – окружающая среда».

Исследования выполнены при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта Т24МН-005.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Клочков, А.В. Новые направления совершенствования машин для химической защиты растений / А.В. Клочков, П.М. Новицкий, А.Е. Маркевич // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК: материалы междунар. научн.-практ. конф., посвященной 60-летию Белор. гос. аграр. техн. ун-та и памяти первого ректора БИМСХ (БГАТУ), д-ра техн. наук, профессора В.П. Суслова, Минск, 4-6 июня 2014 г.: в 2 ч. – Минск: БГАТУ. – Ч. 2. – С. 229-238.

2. Шпаар, Д. Защита растений в устойчивых системах землепользования: в 4-х книгах / Под общей ред. Д. Шпаара. – Торжок: ООО «Вариант», 2004. – Кн. 4. – 345 с.

3. Крук, И.С. Способы и технические средства защиты факела распыла от прямого воздействия ветра в конструкциях полевых опрыскивателей: монография / И.С. Крук, Т.П. Кот, О.В. Гордеенко. – Минск: БГАТУ, 2015. – 284 с.

4. Лысов, А.К. Повышение эффективности осаждения капель диспергируемой рабочей жидкости при использовании вращающихся дисковых распылителей, перфорированных или сетчатых барабанов /А.К. Лысов // Вестник защиты растений. – 2016. – № 4 (90). – С. 61-66.

5. Способы и устройства защиты факела распыла при внесении пестицидов в ветреную погоду / И.С. Крук [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сборник. – 2007. – Вып. 41. – С. 106-113.

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

7. Показатели качества опрыскивания полевыми штанговыми наземными машинами / И.С. Крук [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сборник. – 2016. – Вып. 50. – С. 233-239.

8. Исследование параметров струи факела гидравлических распылителей в лабораторных условиях / И.С. Крук [и др.] // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: сб. научн. трудов; редкол.: В.В. Гусаров (гл. ред.) [и др.]. – Горки: БГСХА, 2025. – Вып. 10. – С. 129-133.

9. Nuyttens, D. Drift from field crop sprayers: The influence of spray application technology determined using indirect and direct drift assessment means: diss… of Doctor of Bioengineering Sciences / D. Nuyttens; Catholic University of Leuven. – Leuven, 2007. – 267 p.

10. Herbicide application methodologies: influence of nozzle selection, droplet size and spray drift on effective spraying – a review. / C.R. Chethan [et al.] // Innovative Farming. – № 4 (1). – 2019. – P. 45-53.

11. Lechler. Теория и практика опрыскивания / И.А. Редкозубов [и др.]. – Lechler, 2010. – 19 с.

12. Крук, И.С. Особенности моделирования процесса падения капель пестицидов при внесении рабочих растворов пестицидов полевыми штанговыми опрыскивателями / И.С. Крук // Агропанорама. – № 3 (169). – 2025. – С. 2-10.

13. Пунцулис, П. Аспекты оценки экологического риска при эксплуатации полевых опрыскивателей / П. Пунцулис, И. Закис. // Environment. Technology. Resources. – 2003. – С. 225-231.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 17.06.2026

УДК 631.365
https://doi.org/10.56619/2078-7138-2026-175-3-9-13

СОЛОМА КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ВИД ТОПЛИВА ДЛЯ СУШИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

В.П. Чеботарев,
профессор каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

Н.П. Гурнович,
доцент каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Г.А. Радишевский,
доцент каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Д.Н. Бондаренко,
ст. преподаватель каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ

В статье проведен анализ основных характеристик соломы, используемой в качестве альтернативного вида топлива для воздухонагревателей при сушке зерна в зерносушилках. Представлена конструкция и описан технологический процесс подогрева воздуха на воздухонагревателе АТС-1,0.

Ключевые слова: местные виды топлива, солома, воздухонагреватель, сушка, энергия, температура.

The article presents an analysis of the main characteristics of straw as an alternative fuel for air heaters when drying grain in grain dryers. The design and technological process of air heating on the ATS-1.0 air heater are presented.

Keywords: local fuels, straw, air heater, drying, energy, temperature..

Введение

В настоящее время актуальным является вопрос снижения себестоимости производимой сельскохозяйственной продукции, что позволит ей конкурировать на рынках. Одним из путей снижения себестоимости является уменьшение затрат на энергетические источники, используемые при производстве сельскохозяйственной продукции.

Сушка – одна из самых энергоемких операций в технологических процессах производства зерна (35…50 % от всех затрат). Применяемые в настоящее время в Республике Беларусь сушильные комплексы используют жидкое топливо, газ или местные виды топлива. Однако складывающаяся в мире ситуация с энергопотреблением требует использования возобновляемых источников тепла, таких как дрова, торф, солома, которые являются наиболее распространенными и доступными энергоресурсами в Беларуси [1, 2].

Использование местных видов топлива в сушильных агрегатах позволит снизить себестоимость производимой сельскохозяйственной продукции. В Республике Беларусь сельскохозяйственным предприятиям целесообразно использовать торфяные брикеты, дрова и отходы выращиваемых сельскохозяйственных культур (костру, отходы после уборки кукурузы и солому) [3]. Наиболее перспективным видом топлива в условиях сельскохозяйственного предприятия является солома, так как часть ее не используется в животноводстве.

Исследования в области использования местных видов топлива в сушильных агрегатах по сушке зерна освещены в работах В.П. Чеботарева, В.Н. Дашкова, С.М. Карташевича, И.В. Барановского, А.В. Новикова и др. [1-3; 6].

Целью статьи является обоснование эффективности применения соломы как местного вида топлива в сушильных агрегатах по послеуборочной обработке зерна.

Основная часть

Одним из важнейших источников повышения эффективности хранения зерна является сушка. Зерно после процесса скашивания имеет влажность от 16 % до 24 % в зависимости от убираемой культуры и погодных условий. Хранить зерно при такой влажности не рекомендуется. При повышенной влажности в процессе хранения из зерна выделяется влага и повышается температура, что способствует развитию плесени и гибели зародышей и теряется качество посевного материала. Сушка зернового материала позволяет снизить влажность до кондиционных значений и сохранить урожай без потерь, кроме того, под воздействием температуры некоторые вредители погибают.

Для сушки зерна используют различные процессы взаимодействия теплоносителя и зерновой смеси. Наиболее широкое применение в конструкциях сушильных агрегатов получил конвективный способ, при котором зерновая масса контактирует с теплоносителем, за счет которого снижается наличие влаги в зерне [3, 4].

В процессе сушки влага из зерна удаляется в атмосферу. В зерне влага находится в двух видах: свободная влага, находящая в межклеточных пространствах, и связанная влага внутри клеточных структур. Для удаления свободной влаги из зерна расход теплоносителя в несколько раз меньше, чем для удаления из внутриклеточных структур. При прохождении теплоносителя через слой зерна оно нагревается за счет температурного воздействия, влага из глубинных слоев перемещается к оболочке и испаряется сквозь капилляры.

В настоящее время для сушки зерна используют различные по конструктивному исполнению сушильные агрегаты, в которых процесс сушки является непрерывным. Наиболее широкое распространение получили шахтные сушильные агрегаты. Шахтный сушильный агрегат состоит из рабочей камеры, имеющей форму в виде шахты, перпендикулярно которой располагаются короба, через которые подается теплоноситель [5]. Для обеспечения нагрева воздуха, который используется в качестве теплоносителя, применяются различные нагревательные устройства. Топочные камеры нагревательных устройств в зависимости от использованного вида топлива отличаются по форме и объему [5].

В зерносушильных комплексах производства Республики Беларусь применяют теплогенераторы, использующие газ, печное бытовое и местные виды топлива.

Использование дров в качестве топлива для сушки зерна сопряжено с целым рядом проблем для высокопроизводительных зерносушилок. В первую очередь, необходим значительный объем твердого топлива. Так, для зерносушилки производительностью 20 пл. т/ч требуется около 700 кг/ч или 1,5 $м^3$/ч дров, а за сезон (при нормативной наработке зерносушилки 400 часов) более 600 $м^3$, что связано с большими затратами труда и финансовых средств на подготовку, хранение и сжигание такого объема топлива. Тем не менее, дрова как топливо для зерносушилок малого и среднего классов являются доступным альтернативным источником тепловой энергии. Задача состоит в создании эффективных топок для ее получения [2].

Однако использование газа или печного топлива оказывает большое влияние на себестоимость процесса сушки зерна. Поэтому одним из важнейших источников снижения себестоимости процесса сушки является использование в топочных агрегатах для получения тепловой энергии местного вида топлива и, в частности, соломы.

В Западной Европе, США и Канаде солому давно используют в качестве топлива. Однако в силу своих физико-механических свойств солома при сжигании создает целый ряд специфических проблем, так как она чрезвычайно гигроскопична и способна поглотить воды в 7…10 раз больше, чем ее собственный вес. В то же время эта влага при нагревании высвобождается в десятки раз быстрее по сравнению с древесной, что является существенным положительным свойством использования соломы как источника топлива. Кроме того, потенциал соломы в качестве топлива оценивается таким показателем, как количество энергии, которое может быть получено при сжигании 1 кг сухой (до 7 % влажности) соломы, и составляет 3300 ккал, что вдвое меньше, чем в угле, и втрое меньше, чем в дизельном топливе. Солома, как и древесина, создает температуру горения на уровне 1000…1200 ^{0}C, чего достаточно для обеспечения такого процесса, как подогрев наружного воздуха, используемого в качестве теплоносителя для сушки зерна. Большим преимуществом соломы является практически полное отсутствие в дымовых газах серы и ее соединений. В то же время сжигание неподготовленной соломы в неприспособленных топках снижает ее удельную энергопроизводительность до 100 ккал/кг, что крайне неэффективно. Одним из основных преимуществ соломы как вида топлива является ее достаточное количество, ежегодная возобновляемость и сравнительно небольшие расстояния для перевозки. В последние годы в Республике Беларусь заготавливается около 9 млн тонн соломы [2].

Среднегодовое производство и структура использования соломы в Республике Беларусь представлены в таблице 1.

Таблица 1. Среднегодовое производство и заготовка соломы в Республике Беларусь [2]

Наименование культуры	Уборочные площади, тыс. га	Биологическая урожайность, т/га	Производство, млн т	Заготавливается, млн т
Рожь озимая	400	3,6	1,44	0,72
Ячмень	560	3,2	1,79	1,25
Овес	170	3,3	0,56	0,48
Пшеница озимая	320	3,5	1,12	0,67
Пшеница яровая	150	3,4	0,51	0,31
Тритикале	450	3,6	1,62	0,81
Рапс	350	3,8	1,33	0,4
Прочие	200	3,2	0,64	0,45
Всего	2600	3,47	9,01	5,09

Исходя из структуры использования, приведенной в таблице 2, при полном исключении применения для укрытия буртов и силосования на сушку зерна (без ущерба другим направлениям применения) может быть использовано около 1 млн тонн соломы. С учетом того, что в каждом сельскохозяйственном предприятии Республики Беларусь имеется в наличии необходимая техника для заготовки соломы в тюках или рулонах, она должна рассматриваться в ближайшей перспективе как основное местное топливо для зерносушилок. Технико-экономическая эффективность использования соломы в качестве топлива характеризуется показателями: теплотворная способность соломы (влажностью не более 18 %) составляет в среднем около 2773 ккал/кг. Поэтому 1 кг жидкого топлива может быть заменен 3,5 кг соломы. Удельный расход соломы (при КПД воздухонагре-

Таблица 2. Объемы использования соломы в Республике Беларусь

Назначение	Фактически используется		Прогнозируемое использование	
	объем, млн т	структура, %	объем, млн т	структура, %
На корм, всего В том числе: − для силосования; − использование в животноводстве	3,20 0,60 2,60	32,92 6,17 26,75	3,00 0,60 2,40	25,00 5,00 20,00
На подстилку (приготовление компостов)	0,51	5,25	2,40	20,00
Для укрытия буртов	0,70	7,20	0	0
Для реализации фермерам и населению	1,20	12,38	0,84	7,00
На топливо для зерносушилок	0,20	2, 07	0,96	8,00
Использование в качестве удобрения	3,90	40,18	4,80	40,00
Всего	9,71	100,00	12,00	100,00

вателя, равном 0,88 по отношению к воздухонагревателю, работающему на жидком топливе) в среднем составит 27 кг/пл. т [3].

Теплотворная способность соломы зависит от ее влажности. В качестве топлива солому необходимо использовать влажностью до 20 %, при которой удельная теплотворная способность составляет: Q_c = 4000 ккал/кг, а при влажности 40…45 % - Q_c = 1500…1800 ккал/кг соответственно. Поэтому солому необходимо хранить в местах с определенной влажностью, позволяющей использовать ее в качестве топлива.

Необходимое количество соломы для сушки годового объема зерна:

$$G = (M \cdot \Delta W \cdot 1000 \cdot q) / \eta \cdot Q_m,$$

где G – необходимое количество соломы для сушки зерна, кг;

M – масса зерна, M = 1000 т;

ΔW – разница влажности зерна до сушки и после (ΔW = 22 – 16 = 4 %);

q – удельная теплота испарения влаги ($q \approx$ ≈ 540 ккал/кг) [8];

η – КПД зерносушилки (η = 0,75) [8];

Q_c – теплотворная способность соломы (Q_c = = 4000 ккал/кг) [3].

$$G = (1000 \cdot 4 \cdot 1000 \cdot 540) / 0,75 \cdot 4000 = 720 \text{ т}$$

В период сезонной работы зерносушилки по сушке 1000 т зерна затраты при использовании соломы в качестве топлива (8,5 у.е./т) составят 6120 у.е., или 47,3 % по сравнению с использованием в воздухонагревателе газа в качестве топлива [3].

Поэтому использование соломы в качестве топлива для воздухонагревателей экономически более выгодно для сельскохозяйственных предприятий и способствует снижению стоимости сушки зерна.

Использовать солому в качестве топлива можно только в специальных топках воздухонагревателей и с ее подготовкой к сжиганию, состоящей из приготовления брикетов, рулонов или тюков, сформированных пресс-подборщиками. Кроме того, для интенсификации процесса горения соломы необходимо обеспечить подачу вторичного воздуха температурой 500…600 ^{0}С для дожигания вредных летучих горючих веществ, так как солома по своей структуре препятствует интенсивному горению. Целесообразно использовать рекуперацию воздушного потока [7].

Для использования соломы в качестве топлива предпочтительно применять топки прямого горения с теплообменниками, в которых лучше, чем в других, используется тепловой потенциал сжигаемого топлива. Для сжигания соломы необходимо применять топочные агрегаты цилиндрической формы. Топочные агрегаты такой формы имеют ряд преимуществ: во-первых, они позволяют использовать солому в виде рулонов, во-вторых, наиболее целесообразно используется металл и поверхность топки.

В Республике Беларусь для сжигания соломы в топках разработан и изготовлен топочный агрегат АТС-1,0 (ОАО «Мозырьсельмаш») (рис. 1) [15].



Рисунок 1. Общий вид воздухонагревателя АТС-1,0

Технологический процесс сжигания соломы в качестве топлива в воздухонагревателе АТС-1,0 (рис. 2) происходит в следующей последовательности. Рулоны соломы закладываются в камеру сгорания 1 и поджигаются. Включается вентилятор подачи надувочного воздуха и вентилятор подачи теплоносителя 7. После прогрева в воздухонагревателе и достижения температуры теплоносителя, необходимого для обеспечения удаления влаги, он подается в сушилку. В сушилке за счет температуры теплоносителя зерно нагревается и отдает влагу. Использованный теплоноситель повторно поступает в воздухонагреватель [7].

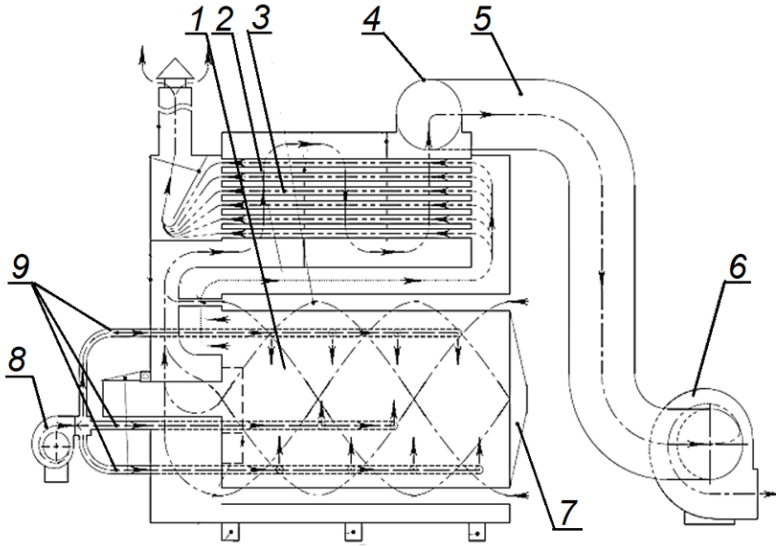


Рисунок 2. Воздухонагреватель АТС-1,0:
1 – камера сгорания; 2 – камера дожигания; 3 – теплообменник; 4 – короб; 5 – воздуховод; 6 – топка;
7 – распределительные воздуховоды; 8 – вентилятор подачи наддувочного воздуха;
9 – подача теплоносителя;
— наддувочный воздух; –•– теплоноситель; –––– дымовые газы; ••••••досжигаемые продукты горения

Заключение

1. В связи с повышением стоимости энергоносителей и нестабильностью поставок на рынок использование соломы в качестве местного вида топлива для сжигания в топочных зерносушильных агрегатах является экономически выгодным.

2. Применение соломы в качестве топлива в топочных агрегатах позволяет снизить себестоимость процесса сушки зернового вороха в сравнении с использованием газа на 47, 3 % и повысить КПД воздухонагревателя до 0,75 при снижении потерь теплоты на 13,2 %.

3. Преимуществом использования соломы в качестве топлива является отсутствие в дымовых газах серы и ее соединений, что не оказывает негативного влияния на экологию.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Послеуборочная обработка зерна в республике / А.В. Новиков [и др.] // Актуальные проблемы повышения квалификации и переподготовки кадров агропромышленного комплекса: сб. докл. междунар. науч.-практ. конф., 24-26 ноября 2010 г., г. Минск: в 2 ч./ Белор. гос. аграр. техн. ун-т; редкол.: Н.В. Казаровец [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2010. – Ч. 2. – С. 129-132.

2. Использование местных видов топлива в сельскохозяйственном производстве Республики Беларусь / В.П. Чеботарев [и др.] // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы междунар. науч.-практ. конф., 21-22 октября 2009 г., г. Минск: в 2 т. / НАН Беларуси, РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2009. – Т. 2. – С. 33 – 37.

3. Сравнительный анализ местных видов топлива / В.П. Чеботарев [и др.] // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: сб. статей междунар. науч.-практ. конф.: в 2 т., 17 – 19 октября 2007 г., г. Минск / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2007. – Т. 2. – С. 214-218.

4. Чеботарев, В.П. К вопросу об использовании местных видов топлива / В.П. Чеботарев, И.В. Барановский, О.С. Дубровский, А.В. Искрицкий // Сельскохозяйственная научно-техническая и рыночная информация. – Минск, 2009, № 7. – С. 40-42.

5. Chebotarev, V.P. Wspolczesne urzadzenia suszact do pozbiorowej obrobki ziana stosjwane na Biajorusi / V.P. Chebotarev, I.V. Barfgjvsky, A.A. Kniazev // Ekologiczne aspekty mechfnizacji ppodukcji roslikcji roskinnej: XII Muedzynarodowe Sympozjum, Warszawa, 21-22 wrzesgif 2006. – Warszawa, 2006. – S. 75-79.

6. Дашков, В.Н. К обоснованию основных параметров теплогенератора на местных видах топлива для зерносушилок /В.Н. Дашков, А.С. Тимошек, В.П. Чеботарев // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: труды III-й междунар. науч.-техн. конф.: в 2 ч. /ВИЭСХ. – М., 2003. – Ч. 2. – С. 269-275.

7. Чеботарев, В.П. Анализ современных конструктивно-технологических схем воздухонагревателей, работающих на соломе / В.П. Чеботарев, И.В. Барановский, А.С. Тимошек, А.В. Новиков, Д.В. Мельник, О.С. Дубровский // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. /РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2007. – Вып. 41. – С. 272-281.

8. Дашков, В.Н. Обоснование и расчет параметров топки к зерносушилке на местных видах топлива / В.Н. Дашков, С.М. Карташевич, А.С. Тимошек [и

др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. в 2 т. – Минск: РУНИП «Институт механизации сельского хозяйства НАН Беларуси» , 2003. – Вып. 37. – Т. 1. – С.119-124.

9. Концепция развития парка зерноочистительного и сушильного оборудования в Республике Беларусь/ В.П. Дашков [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. темат. сб./ Нац. академия наук Беларуси, РУНИП «Институт механизации сельского хозяйства НАН Беларуси». – Минск, 2004. – Вып. 38. – С. 98 -101.

10. Дубовский, О.С. Анализ современных конструктивно-технологических схем агрегатов топочных на местных видах топлива /О.С. Дубовский [и др.] //Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУНИП «Институт механизации сельского хозяйства НАН Беларуси». – Минск, 2006. – Вып. 40. – С. 206-212.

11. Чеботарев, В.П. К вопросу использования местных видов топлива / В.П. Чеботарев [и др.] // Сельскохозяйственная науч.-техн. и рыночная информация. – Минск, 2009. – № 7. – С. 40-42.

12. Киршер, О. Научные основы техники сушки / О. Кришер (пер. с нем. Д.М. Левина); под ред. А.С. Гинзбурга. – М.: Изд-во иностр. литературы, 1961. – 535 с.

13. Акулич, П.В. Термогидродинамические процессы в технике сушки / Н.В. Акулич. – Минск: Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, 2022. – 268 с.

14. Ткачев, С.М. Энергосберегающие технологии и технические средства для сушки зерна / С.М. Ткачев [и др.] // Белорусское сельское хозяйство. – 2003. – № 9. – С. 24-27.

15. Евразийский пат. 016089, МПК F24H 3/00. Воздухонагреватель: № ЕА 200801726: заявлено 19.06.2008: опубл. 28.02.2012 / В.П. Чеботарев, В.Г. Самосюк, И.В. Барановский, Д.В. Мельник, А.В. Новиков, О.С. Дубровский, А.В. Искрицкий; заявитель: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» // Бюллетень Евразийского патентного ведомства. – 2012. – № 2. – С. 421-429.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 11.05.2026

Независимая навеска и система стабилизации штанги опрыскивателя «Мекосан-2500-18»

Предназначена для снижения амплитуды колебаний штанги и повышения надежности ее несущей конструкции.

Применение разработки позволяет эффективно гасить колебания штанги, возникающие вследствие движения колес опрыскивателя по неровности поверхности поля, что обеспечивает высокую равномерность распределения пестицидов по обрабатываемому объекту, а также повышение надежности несущей конструкции штанги.



Основные технические данные

Марка машины	Мекосан-2500-18
Производительность за 1 час времени, га:	
- сменного	10,9
- эксплуатационного	10,7
Система навески штанги на остов опрыскивателя	Независимая
Способ крепления рамки штанги к остову опрыскивателя	Параллелограммная навеска
Амплитуда колебаний краев штанги, м	до 0,1
Рабочая скорость движения, км/ч	9-12
Качество выполнения технологического процесса:	
- неравномерность распределения рабочей жидкости по ширине захвата, %, не более	15
- снижение неравномерности распределения рабочей жидкости по ширине захвата, %, не менее	5
Габаритные размеры опрыскивателя в транспортном положении, мм, не более	6045x2425x2215
Габаритные размеры опрыскивателя в рабочем положении (при высоте установки штанги 600 мм), мм, не более	6045x18250x2215
Дорожный просвет, мм	350
Увеличение массы опрыскивателя, кг	на 120

УДК 619:618.19-002:636.2:004.8
https://doi.org/10.56619/2078-7138-2026-175-3-14-19

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ МАСТИТА У КОРОВ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В УСЛОВИЯХ МОЛОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

И.Н. Казаровец,
доцент каф. технологий и механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции БГАТУ, канд. с.-х. наук, доцент

А.В. Мартынов,
доцент каф. кормления и разведения сельскохозяйственных животных БГСХА, канд. с.-х. наук, доцент

В статье рассмотрены современные подходы к ранней диагностике и предупреждению мастита у коров в условиях молочного производства Республики Беларусь. Показано, что традиционные методы диагностики сохраняют высокую ветеринарную значимость, однако уступают цифровым решениям по оперативности, непрерывности контроля и возможности выявления доклинических отклонений. Обоснована целесообразность интеграции данных о количестве соматических клеток, электропроводности молока, удое, температуре, двигательной активности и руминации животных в единую систему цифрового мониторинга. Установлено, что методы машинного обучения позволяют формировать индивидуальный цифровой профиль животного и выявлять риск развития мастита до появления выраженных клинических признаков. Предложена поэтапная модель внедрения интеллектуальной системы раннего предупреждения мастита для молочно-товарных комплексов Республики Беларусь.

Ключевые слова: маститы, коровы, ранняя диагностика, соматические клетки, электропроводность молока, машинное обучение, искусственный интеллект, цифровой мониторинг, риск-индекс.

The article examines modern approaches to early detection and prevention of mastitis in dairy cows under the conditions of milk production in the Republic of Belarus. It is shown that traditional diagnostic methods remain highly relevant for veterinary practice; however, they are inferior to digital solutions in terms of responsiveness, continuity of monitoring and the ability to detect preclinical deviations. The feasibility of integrating somatic cell count, milk electrical conductivity, milk yield, temperature, physical activity and rumination data into a unified digital monitoring system is substantiated. Machine learning methods are shown to make it possible to form an individual digital profile of a cow and detect the risk of mastitis before pronounced clinical signs appear. A step-by-step model for implementing an intelligent mastitis early warning system for dairy complexes in the Republic of Belarus is proposed.

Keywords: mastitis, dairy cows, early detection, somatic cell count, milk electrical conductivity, machine learning, artificial intelligence, digital monitoring, risk index.

Введение

Мастит остается одной из наиболее значимых патологий молочного скота, поскольку одновременно снижает молочную продуктивность, ухудшает санитарно-технологические свойства молока, увеличивает затраты на ветеринарные мероприятия, способствует росту выбраковки животных и создает риск нерационального применения антибактериальных препаратов. По результатам глобального экономического анализа, суммарные ежегодные потери от основных болезней молочного скота оцениваются приблизительно в 65 млрд долл. США, при этом клинический и субклинический мастит относятся к числу наиболее затратных заболеваний [1]. Следовательно, раннее выявление мастита следует рассматривать не только как ветеринарную задачу, но и как элемент экономической устойчивости молочного производства.

Для Республики Беларусь данная проблема имеет особое значение в связи с высокой концентрацией поголовья на молочно-товарных комплексах, требованиями к качеству молочного сырья и необходимостью повышения эффективности производства. Отечественные исследования подтверждают, что маститы бактериальной этиологии сохраняют производственную актуальность, а своевременное выявление возбудителей и определение чувствительности к антибактери-

альным препаратам позволяют рационализировать лечебные мероприятия [2, 3]. Однако для крупных хозяйств одной только лабораторной и клинической верификации заболевания уже недостаточно. Необходимо предупреждать развитие патологического процесса на доклиническом этапе, когда снижение удоя, ухудшение качества молока и риск распространения инфекции еще могут быть минимизированы.

Традиционные методы диагностики мастита – клинический осмотр, экспресс-пробы, определение количества соматических клеток, бактериологическое исследование сохраняют важное значение, однако в условиях промышленного молочного производства они должны быть встроены в более широкий цифровой контур. Современные исследования показывают, что наибольший диагностический эффект достигается при объединении данных о соматических клетках, электропроводности молока, удое, температуре тела, активности и руминации животных с алгоритмами машинного обучения [4-7]. Такой подход соответствует логике точного животноводства, при котором объектом анализа становится не отдельный разовый показатель, а динамический цифровой профиль животного.

Проблемы распространения, профилактики, лечения и ранней диагностики мастита у коров в условиях молочного производства Республики Беларусь освещены в работах И.Т. Лучко, Р.Г. Кузьмича, А.П. Семечко, А.А. Летуновича, А.А. Богуша, В.Е. Иванова, Л.М. Бородич, И.И. Гируцкого, А.Г. Сенькова, Ю.А. Ракевича, А.Ф. Гриба.

Цель данной работы – научно обосновать модель раннего предупреждения мастита у коров на основе интеграции традиционных ветеринарных методов, сенсорных данных и алгоритмов искусственного интеллекта применительно к условиям молочного производства Республики Беларусь.

Основная часть

Базовым методом выявления воспаления вымени в ветеринарной практике остается определение количества соматических клеток (КСК) в молоке, так как при воспалении увеличивается количество лейкоцитов и эпителиальных клеток. Поэтому рост количества соматических клеток рассматривают как один из основных признаков развития мастита, в том числе его субклинической формы. В работах, посвященных диагностике субклинического мастита, отмечается, что близкая к норме реакция экспресс-тестов чаще всего соответствует содержанию соматических клеток менее 200 тыс./мл, пограничная – 200-500 тыс./мл, а более 500 тыс./мл – свидетельствует о воспалительном процессе в молочной железе [9; 12].

В то же время следует учитывать, что количество соматических клеток отражает уже начавшиеся изменения в молочной железе. Если лабораторный контроль проводится редко, например один раз в несколько недель, то повышение данного показателя может быть выявлено не сразу. В результате начало воспалительного процесса может быть пропущено. Поэтому определение количества соматических клеток целесообразно использовать как важный, но не единственный метод ранней диагностики мастита.

Современные исследования показывают, что модели, основанные на оценке количества соматических клеток, обладают высокой диагностической ценностью. Однако на практике более надежные результаты можно получить при комплексной оценке состояния животного. Особенно важно сочетать данный показатель с другими диагностическими признаками, например с электропроводностью молока, изменением его состава и общим состоянием вымени [2-5].

Электропроводность молока также представляет диагностический интерес, поскольку при нарушении барьерной функции тканей вымени изменяется ионный состав секрета, что может отражаться в повышении данного показателя. В работах по диагностике мастита отмечается, что электропроводность может использоваться как ранний индикатор воспалительных изменений, особенно при поточном контроле в автоматизированных доильных системах [10, 11; 13]. Однако данный показатель не обладает абсолютной специфичностью, поскольку на него влияют – стадия лактации, индивидуальные особенности животного, кратность доения, условия содержания, состав рациона и технологические факторы. Поэтому электропроводность молока должна использоваться не как самостоятельный диагностический критерий, а как один из ранних сигналов в многопараметрической модели риска.

Экономический ущерб от мастита для хозяйств Республики Беларусь имеет многокомпонентный характер. Он включает снижение молочной продуктивности, ухудшение качества молока, возможные удержания за повышенное содержание соматических клеток, затраты на лечение и ветеринарное обслуживание, дополнительные трудовые затраты, преждевременную выбраковку животных и ухудшение воспроизводительных показателей. По данным отечественных исследований, экономический ущерб только по двум основным статьям (потери молока и затраты на лечение) составлял в среднем 214,48 руб. на одну заболевшую корову, причем в эту оценку не были включены потери, связанные с выбраковкой, снижением воспроизводства и другими косвенными факторами [8; 14, 15].

По данным О.Т. Экхорутомвена, полученным при изучении заболеваемости коров маститом в условиях молочного хозяйства Республики Беларусь, в период с декабря 2017 г. по февраль 2019 г. было выявлено 198 случаев клинического и субклинического мастита при численности стада от 780 до 1350 голов. В среднем регистрировалось 13,2 больных животных в месяц, что соответствовало 0,97-1,7 % заболевших коров на 100 голов в месяц. При этом в период действия стрессовых факторов, связанных с нарушением электроснабжения во время работы доильных установок, заболеваемость существенно возрастала: в сентябре-ноябре 2021 г. было зарегистрировано 195 случаев мастита, или в среднем 4,46 % на 100 коров в месяц [8].

Актуальность проблемы подтверждается также монографическими данными по хозяйствам Республики Беларусь: мастит регистрировался у 20,6 % ко-

ров дойного стада, а в отдельных хозяйствах показатель варьировал от 8,1 до 34,7 %. При круглогодовом стойлово-беспривязном содержании субклинический мастит отмечался у 21,3 % коров, при стойлово-пастбищной системе – у 13,9 % [11]. Это подтверждает необходимость непрерывного мониторинга скрытых форм заболевания.

Для иллюстрации масштабов экономического ущерба в условиях типичного белорусского хозяйства приведем расчетный пример с учетом указанных нормативных и фактических данных. Предположим, что на ферме содержится 200 дойных коров, а частота клинического и субклинического мастита составляет 20 % в год, что соответствует 40 заболевшим животным. При среднем ущербе 214,48 руб. на одну корову совокупные прямые потери по данным отечественных исследований составят 8579,2 руб. Однако с учетом того, что в указанный показатель не включены выбраковка, воспроизводственные потери и снижение качества молока, целесообразно дополнительно учитывать косвенные затраты. Если принять, что вследствие мастита выбраковываются не менее 3 коров в год, а стоимость их замены составляет 3000 руб. за голову, то дополнительные потери достигнут 9000 руб. При этом даже минимальная оценка потерь молока при снижении удоя на 15–18 % может составлять порядка 6000-8000 руб. в год в зависимости от уровня продуктивности стада. В результате суммарный экономический ущерб для фермы на 200 коров может превышать 20 000 руб. в год. Для фермы на 400 коров при аналогичной структуре заболеваемости данный показатель возрастает как минимум до 40 000 руб., а с учетом всех косвенных факторов еще выше. Сопоставление основных статей потерь представлено в таблице 1.

Таблица 1. Расчетная оценка экономического ущерба от мастита у коров в молочных хозяйствах Республики Беларусь с различной численностью поголовья

Показатель	Ферма 200 коров	Ферма 400 коров
Число случаев в год	40	80
Прямой ущерб (214,48 руб./корову), руб.	8 579	17 158
Потери молока (оценочно), руб.	6 000-8 000	12 000-16 000
Потери от выбраковки, руб.	9 000	18 000
Прочие косвенные потери, руб.	2 000+	4 000+
Итого: минимально, руб.	20 000+	40 000+

Анализ представленных данных показывает, что наибольший вклад в структуру экономического ущерба вносят не затраты на лечение, а потери молока и замещение выбракованных животных. Это имеет принципиальное значение для управления производством, так как снижение заболеваемости и особенно предотвращение развития клинических форм мастита позволяют существенно сократить потери без значительного увеличения затрат на лечение. Следовательно, основным резервом повышения экономической эффективности молочного производства является внедрение систем ранней диагностики, позволяющих выявлять патологический процесс на доклинической стадии. В этом контексте инвестиции в цифровые технологии, сенсорные системы и алгоритмы машинного обучения следует рассматривать не как дополнительные расходы, а как экономически обоснованный инструмент снижения потерь и повышения рентабельности молочного скотоводства в Республике Беларусь.

Современные цифровые методы диагностики основаны на непрерывном сборе и анализе данных. В модели раннего выявления мастита могут включаться: удой, электропроводность молока, количество соматических клеток, содержание жира, белка и лактозы, температура тела или молока, двигательная активность, время лежания, продолжительность руминации и история ветеринарных событий. Исследования на промышленных фермах показывают, что алгоритмы машинного обучения способны анализировать такие данные и прогнозировать риск клинического мастита до появления выраженных симптомов [5, 6]. Для условий Республики Беларусь наиболее реалистичным является поэтапный переход: сначала цифровой учет удоя и событий здоровья, затем подключение датчиков электропроводности и температуры, далее – использование датчиков активности и руминации и, наконец, внедрение программного модуля риск-анализа.

Нейронные сети позволяют выявлять еще более сложные зависимости между физиологическими, продуктивными и поведенческими показателями. Однако их применение требует большего объема качественных данных, регулярной валидации и осторожной интерпретации результатов. В исследовании [4] показано, что модели машинного обучения, использующие КСК и электропроводность молока, способны обеспечивать высокие показатели классификации мастита, причем они демонстрируют особенно высокую диагностическую значимость. Вместе с тем результаты зарубежных моделей нельзя механически переносить на белорусские хозяйства, так как точность алгоритма зависит от породы, продуктивности, технологии доения, качества датчиков, структуры стада, протоколов лечения и корректности разметки случаев мастита.

Практическая новизна предлагаемого подхода для Республики Беларусь заключается в создании интеллектуальной системы раннего предупреждения мастита, адаптированной к условиям конкретного хозяйства. Ее ядром должен стать риск-индекс, рассчитываемый по индивидуальным отклонениям показателей коровы от собственной базовой линии. В производственной интерпретации риск-индекс может быть представлен следующим образом:

$$RI = 0,30 \cdot Z_{КСК} + 0,20 \cdot Z_{Э} + 0,20 \cdot Z_{\Delta У} + \\ +0,15 \cdot Z_{Т} + 0,15 \cdot Z_{\Delta Рум},$$

где RI – интегральный риск-индекс;

$Z_{КСК}$ – нормированное отклонение КСК;

$Z_{Э}$ – нормированное отклонение электропроводности;

$Z_{\Delta У}$ – снижение удоя относительно индивидуальной нормы;

$Z_Т$ – температурное отклонение, температуры тела или окружающей среды;

$Z_{\Delta Рум}$ – изменение руминации.

На первом этапе такая формула может использоваться как прикладная сортировочная модель, а затем коэффициенты уточняются по данным конкретного хозяйства средствами машинного обучения. В этом состоит ее реальная внедряемость, хозяйство может начать с простой понятной модели и перейти к более сложной без перестройки всей системы.

Например, если индивидуальная норма коровы за предыдущие 10 суток составляет: удой – 30,5 кг/сут, электропроводность – 6,3 мСм/см, температура – 38,4 °С, руминация – 455 мин./сут, КСК – 120 тыс./мл, а система регистрирует удой – 27,8 кг/сут, электропроводность – 7,5 мСм/см, температуру – 38,9 °С, руминацию – 392 мин/сут и КСК – 245 тыс./мл, то каждый отдельный показатель может быть оценен как пограничный или умеренно неблагоприятный. Однако их одновременное изменение формирует цифровой паттерн повышенного риска воспаления вымени. Интерпретация такого случая приведена в таблице 2.

Анализ таблицы 2 показывает, что по отдельности некоторые показатели могли бы трактоваться как пограничные, однако их одновременное изменение формирует клинически значимый цифровой паттерн.

Для количественной оценки отклонения показателя от индивидуальной нормы можно использовать стандартизированное отклонение или Z–оценку:

$$Z = \frac{X_{\text{тек}} - X_{\text{норма}}}{\sigma},$$

где Z – степень отклонения показателя от нормы;

$X_{\text{тек}}$ – текущее значение показателя;

$X_{\text{норма}}$ – индивидуальная норма животного;

σ – стандартное отклонение данного показателя.

Такой способ удобен тем, что позволяет сравнить между собой различные показатели, выраженные в разных единицах измерения.

В приведенном расчете были приняты следующие допустимые значения стандартного отклонения: для удоя – 2,0 кг, электропроводности молока – 0,8 мСм/см, температуры – 0,2 °С, руминации – 30 мин, количества соматических клеток – 40 тыс./мл.

По результатам расчета наиболее сильное отклонение отмечено по количеству соматических клеток – 3,125, что указывает на высокий риск воспалительного процесса в молочной железе. Электропроводность молока была выше обычного уровня – 1,5, что аналогично можно рассматривать как дополнительный ранний диагностический признак. Температурный показатель имел значение – 2,5, указывая на умеренное, но значимое отклонение от нормы. Одновременно наблюдалось снижение удоя (−1,35) и руминации (−2,1), что таким же образом имеет диагностическое значение, поскольку уменьшение продуктивности и жвачной активности часто сопровождает ухудшение физиологического состояния животного.

Для обобщенной оценки был рассчитан интегральный риск-индекс:

$$RI=0{,}30\times3{,}125+0{,}20\times1{,}5+0{,}20\times(-1{,}35)+$$
$$+0{,}15\times2{,}5+0{,}15\times(-2{,}1)=0{,}9375+0{,}3-0{,}27+$$
$$+0{,}375-0{,}315=(0{,}9375+0{,}3+0{,}375)-(0{,}27+$$
$$+0{,}315)=1{,}6125-0{,}585=1{,}03$$

При принятой шкале интерпретации значения, где $RI<0{,}5$ соответствует низкому риску, RI = 0,5-1,0 – среднему риску, а RI>1,0 – высокому риску, можно заключить, что животное следует отнести к группе высокого риска развития воспалительного процесса.

Следует отметить, что отдельные показатели могут выглядеть как пограничные или умеренные. Однако их одновременное отклонение относительно индивидуальной нормы имеет большее значение, чем оценка каждого признака отдельно. В этом и заключается преимущество комплексного подхода. Система учитывает не один показатель, а совокупность изменений, характерных именно для конкретной коровы.

Следовательно, система раннего предупреждения не должна автоматически устанавливать диагноз или назначать лечение. Ее задача – своевременно выделить животное в группу риска и сформировать сигнал для персонала. В данном случае корову необходимо направить на внеочередной ветеринарный осмотр, контроль секрета вымени, проведение экспресс-пробы, а при необходимости – бактериологическое исследование. Она позволяет распределять животных по группам риска: при низком риске сохраняется плановый мониторинг, при среднем – проводится повторный контроль при следующем доении или в течение суток, при высоком – выполняется внеочередной осмотр и диагностическая верификация. Такой подход снижает нагрузку на ветеринарный персонал, помогает сосредоточить внимание на животных с наибольшей вероятностью патологии и уменьшает риск пропуска субклинических форм мастита.

Для хозяйств Республики Беларусь можно рекомендовать четырехэтапную схему внедрения. На первом этапе проводится аудит существующей цифровой инфраструктуры: наличие электронного учета надоя, данных по лактации, истории заболеваний, результа-

Таблица 2. Пример цифровой интерпретации риска мастита у коровы

Показатель	Индивидуальная норма	Текущее значение	Отклонение	Интерпретация
Удой, кг/сут	30,5	27,8	−8,9%	неблагоприятно
Электропроводность, мСм/см	6,3	7,5	+19,0%	выраженный ранний сигнал
Температура, °С	38,4	38,9	+0,5	умеренный сигнал
Руминация, мин/сут	455	392	−13,8%	неблагоприятно
КСК, тыс./мл	120	245	+104,2%	высокий риск воспаления

тов контроля количества соматических клеток и ветеринарных мероприятий. На втором этапе подключаются или активируются датчики электропроводности, температуры молока, активности и руминации. На третьем этапе формируется базовая риск-модель с использованием логистической регрессии как уточняющего алгоритма для разнородных данных. На четвертом этапе проводится локальная валидация модели на данных конкретного хозяйства с участием ветеринарной службы, после чего коэффициенты и пороговые значения корректируются с учетом фактических результатов. Обязательным условием внедрения является наличие протокола подтверждения случаев мастита, поскольку без качественной разметки данных алгоритм будет воспроизводить ошибки учета, а не выявлять реальные биологические закономерности.

С организационной точки зрения внедрение цифровой системы должно сопровождаться обучением персонала. Ветеринарный врач должен понимать, что риск-индекс не является диагнозом, а представляет собой инструмент приоритизации. Оператор машинного доения должен фиксировать технологические отклонения, которые могут влиять на показатели молока. Зоотехник должен учитывать фазу лактации, продуктивность, рацион и стрессовые факторы. Руководитель хозяйства должен оценивать не только стоимость оборудования, но и экономический эффект от сокращения поздних случаев мастита, уменьшения выбраковки и повышения качества молочного сырья. Именно соединение ветеринарной экспертизы, цифровых данных и производственного управления определяет практическую эффективность предлагаемой модели.

Научная значимость предлагаемого подхода состоит в развитии риск-ориентированной диагностики мастита, основанной на индивидуальной динамике показателей животного, а не только на фиксированных пороговых значениях. Практическая значимость заключается в возможности применения модели на молочно-товарных комплексах с разным уровнем цифровой оснащенности. Хозяйство может начать с минимального набора данных (удой, КСК, электропроводность, история заболеваний) и постепенно расширять модель за счет датчиков активности, руминации, температуры и автоматизированных систем управления стадом. Такой поэтапный подход особенно важен для белорусских условий, поскольку позволяет внедрять цифровую диагностику без одномоментной полной замены имеющейся технологической инфраструктуры.

Вместе с тем предлагаемая модель имеет ряд ограничений. Риск-индекс требует валидации на локальных данных конкретного стада, поскольку пороговые значения должны корректироваться с учетом породы, фазы лактации, уровня продуктивности и технологии содержания животных. Качество прогноза во многом зависит от полноты и достоверности исходных данных, а алгоритмы искусственного интеллекта не должны рассматриваться как замена бактериологической диагностики и клинического решения ветеринарного специалиста. Следовательно, перспективным направлением дальнейших исследований является апробация предложенной модели на базе молочно-товарных комплексов Республики Беларусь с расчетом чувствительности, специфичности, точности, экономического эффекта и срока окупаемости цифрового решения.

Заключение

Проведенный анализ показывает, что ранняя диагностика и предупреждение мастита у коров в условиях Республики Беларусь должны основываться на интеграции традиционных ветеринарных методов и цифрового мониторинга. Клинический осмотр, экспресс-тесты, определение соматических клеток и бактериологическое исследование сохраняют высокую диагностическую значимость, однако в условиях крупных молочно-товарных комплексов их следует рассматривать как элементы более широкой интеллектуальной системы управления здоровьем вымени. Электропроводность молока является ценным ранним поточным индикатором, но ее эффективность существенно возрастает только при совместном использовании с другими физиологическими и производственными признаками.

Наиболее перспективным направлением является внедрение многопараметрической системы раннего предупреждения мастита, включающей сбор данных, формирование индивидуального цифрового профиля коровы, расчет риск-индекса, автоматическую сортировку животных по группам риска и последующую ветеринарную верификацию. Для условий Республики Беларусь практическая ценность такого подхода состоит в возможности перехода от реактивной схемы («выявили заболевание – лечим») к проактивной схеме («зафиксировали риск – предупредили развитие клинической формы»). Внедрение данной модели может способствовать снижению экономических потерь, повышению качества молочного сырья, рационализации работы ветеринарной службы и повышению эффективности управления молочным стадом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Rasmussen, P. Global losses due to dairy cattle diseases: a comorbidity-adjusted economic analysis / P. Rasmussen, H.W. Barkema, P.P. Osei, J. Taylor, A.P. Shaw, B. Conrady [et al.] // Journal of Dairy Science. – 2024. – Vol. 107, № 9. – P. 6945-6970. – DOI: 10.3168/jds.2023-24626.

2. Абаимова, Е.Б. Патогенная микрофлора в этиологии клинических маститов / Е.Б. Абаимова, И.А. Субботина // Ветеринарный журнал Беларуси. – 2023. – № 1. – С. 3-7.

3. Абаимова, Е.Б. Возбудители маститов крупного рогатого скота, определение чувствительности к антибактериальным препаратам / Е.Б. Абаимова, И.А. Субботина, И.А. Протас // Роль ветеринарной науки и образования в современном обществе: к 100-летию Витебской ордена «Знак Почета» государ-

ственной академии ветеринарной медицины: материалы междунар. науч.-практ. конф., Витебск, 4-5 ноября 2024 г. / Витебская гос. академия ветеринарной медицины. – Витебск: ВГАВМ, 2024. – С. 240-243.

4. Pan, L. Machine learning-based clinical mastitis detection in dairy cows using milk electrical conductivity and somatic cell count / L. Pan, X. Chen, D. Han, N. Li, D. Chen, J. Wang [et al.] // Frontiers in Veterinary Science. – 2025. – Vol. 12. – Article 1671186. – DOI: 10.3389/fvets.2025.1671186.

5. Tian, H. The prediction of clinical mastitis in dairy cows based on milk yield, rumination time, and milk electrical conductivity using machine learning algorithms / H. Tian, X. Zhou, H. Wang, C. Xu, Z. Zhao, W. Xu, Z. Deng // Animals. – 2024. – Vol. 14, № 3. – Article 427. – DOI: 10.3390/ani14030427.

6. Liu, C. Machine learning-based prediction of clinical mastitis in dairy cows: a comparative analysis of 9 algorithms using production and management data / C. Liu, M. Cui, D. Zhang, Y. Lu, X. Yan, Y. Li [et al.] // Journal of Dairy Science. – 2025. – Article in press. – DOI: 10.3168/jds.2025-27483.

7. Bobbo, T. Exploiting machine learning methods with monthly routine milk recording data and climatic information to predict subclinical mastitis in Italian Mediterranean buffaloes / T. Bobbo, R. Matera, G. Pedota, A. Manunza, R. Cimmino, G. Neglia [et al.] // Journal of Dairy Science. – 2023. – Vol. 106, № 3. – P. 1942-1952. – DOI: 10.3168/jds.2022-22292.

8. Экхорутомвен, О.Т. Причины, частота мастита у коров и их молочная продуктивность / О.Т. Экхорутомвен, Г.Ф. Медведев, А.И. Стукина // Животноводство и ветеринарная медицина. – 2022. – № 1. – С. 7-11.

9. Лаушкина, Н.Н. Методы диагностики субклинического мастита коров в лактационный период в условиях молочного комплекса / Н.Н. Лаушкина, С.А. Скребнев, К.С. Скребнева // Вестник ОрелГАУ. – 2020. – № 6 (87). – С. 62-65.

10. Ковалев, В.А. Приборные методы ранней диагностики мастита у коров / В.А. Ковалев, А.В. Крутов, Н.Г. Крылова // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК: материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 21–22 декабря 2021 г. – Минск: БГАТУ, 2021. – С. 200-203.

11. Лучко, И.Т. Воспаление молочной железы у коров: этиология, патогенез, диагностика, лечение и профилактика: монография / И.Т. Лучко; Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь; Гродненский гос. аграр. ун-т. – Гродно: ГГАУ, 2019. – 183 с.

12. Bari, M. S. Subclinical mastitis in dairy cows in South Asian countries: a review of risk factors and etiology to prioritize control measures / M. S. Bari, M.M. Rahman, Y. Persson, G. Koop // Veterinary Research Communications. – 2022. – Vol. 46. – P. 621-640. – DOI: 10.1007/s11259-022-09948-x.

13. Черненок, В.В. Методы диагностики и лечения мастита у коров / В.В. Черненок, О.В. Хотмирова, Ю.Н. Черненок // Вестник Курской гос. сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 4. – С. 40-43.

14. Андреева, А.А. Этиология и эпизоотология мастита коров: аналитический обзор / А.А. Андреева, В.А. Евграфова, М.С. Воронина, О.В. Прунтова, Н.Б. Шадрова // Ветеринария сегодня. – 2024. – Т. 13, № 1. – С. 27-35. – DOI: 10.29326/2304-196X-2024-13-1-27-35.

15. Селекционно-племенная работа, контроль и управление воспроизводством маточного поголовья крупного рогатого скота: монография / Н.В. Казаровец, Г.Ф. Медведев, И.И. Гавриченко [и др.]. – Мн.: РУП «Учебно-методич. центр Минсельхозпрода», 2004. – 240 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 19.05.2026

“Агропанорама” - научно-технический журнал для работников агропромышленного комплекса. Это издание для тех, кто стремится донести результаты своих исследований до широкого круга читателей, кого интересуют новые технологии, кто обладает практическим опытом решения задач.

Журнал “Агропанорама” включен в список изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (сельскохозяйственное машиностроение и энергетика, технический сервис в АПК), экономическим (АПК) и сельскохозяйственным наукам (зоотехния).
Подписной индекс в каталоге Республики Беларусь: для индивидуальных подписчиков - 74884, предприятий и организаций - 748842.
Стоимость подписки на 1-е полугодие 2026 года: для индивидуальных подписчиков - 61,68 руб., ведомственная подписка - 63,63 руб.

УДК 658.581
https://doi.org/10.56619/2078-7138-2026-175-3-20-26

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РЕСУРСА ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОДНЫХ СЕКЦИЙ ЭЛЕКТРОАКТИВАТОРА

О.В. Бондарчук,
доцент каф. энергетики БГАТУ, канд. техн. наук

Ю.Н. Селюк,
ст. преподаватель каф. практической подготовки студентов БГАТУ

А.В. Гуд,
ст. преподаватель каф. моделирования и проектирования БГАТУ

В статье разработана математическая модель прогнозирования срока службы изоляции проводников электродных секций электроактиватора. Предложена методика оценки фактического состояния изоляции по результатам периодических измерений тангенса угла диэлектрических потерь. Внедрение данной модели в систему эксплуатации электрооборудования позволит оптимизировать график ремонтов, предотвратить аварийные ситуации и определить остаточный ресурс изоляции с достаточно высокой точностью.

Ключевые слова: электроактиватор, организация эксплуатации, математическая модель прогнозирования, напряженность электрического поля, электродная секция, изоляция, остаточный ресурс, мощность частичных разрядов, деградация.

This study focuses on the development of a model for predicting the service life of the insulation in the conductors of the electrode sections of an electroactivator. A method for assessing the actual condition of the insulation based on the results of periodic measurements of the dielectric loss tangent is proposed. The implementation of the model into the electrical equipment operation system makes it possible to optimize the maintenance schedule, prevent breakdowns and determine the remaining service life of the insulation with a sufficiently high degree of accuracy.

Keywords: electroactivator, operation organization, prediction model, electric field strength, electrode section, insulation, remaining service life, partial discharge power, degradation.

Введение

Внедрение электроактиватора в технологическую линию солодоращения для интенсификации процесса производства солода обуславливает необходимость рациональной эксплуатации данной установки [1].

Учитывая новизну разработанного электротехнологического оборудования [1], значительную производительность, высокое напряжение, подаваемое на электроды, необходимо обеспечить и достаточный уровень его эксплуатационной надежности. Это достигается в результате своевременного проведения работ по техническому обслуживанию (ТО) и техническому ремонту (ТР), а также контроля технического состояния установки электроактивации ячменя на всех этапах использования. Немаловажным также является сбор и анализ эксплуатационных данных указанного электрооборудования с целью определения остаточного ресурса его элементов.

Вопросы определения ресурса электрической изоляции освещены в работах Г.С. Кучинского, С. Аррениус, С.Н. Журкова, Ж.-П. Крайна, H. Eyring, Th. W. Dakin, G.C. Montanari, L. Dissado, S. Whitehead, L. Simoni [2-8]. Ими предложены математические модели старения изоляции, однако ни одна из них не может быть применима к системе электродов установки электроактивации ввиду низкой рабочей температуры и высокого напряжения. Эти модели разработаны для определения ресурса изоляции с учетом термодеструкции химических связей, действия частичных разрядов (ЧР), комбинированного воздействия напряжения, температуры и влажности. В указанных моделях при уменьшении рабочей температуры проводника ресурс изоляции стремится к бесконечности, что в корне неверно. Снижение температуры ниже расчетной не приводит к увеличению срока службы изоляции. Это справедливо и для комбинированных моделей. В электроактиваторе основным фактором износа является электрическое старение изоляции, что отражено в модели Г.С. Кучинского. Однако в ней не в полной мере учтено влияние на остаточный ресурс изоляции увеличения мощности частичных разрядов

и изменение коэффициента деградации в процессе эксплуатации. Поэтому для определения долговечности изоляции электродов в условиях низкой рабочей температуры и высокого напряжения необходимо разработать ее динамическую математическую модель.

Целью данной работы является разработка математической модели ресурса изоляции электродных секций электроактиватора на основе концепции динамической деградации полимера под действием частичных разрядов, что обеспечивает качественную эксплуатацию установки.

Основная часть

Установка для электрообработки зерна ячменя функционирует в поточном технологическом режиме (рис. 1). Ячмень поступает в загрузочное устройство 1, где механизмом дозированной подачи 2 приводит в движение электродвигатель 7 и распределяется в один слой на ленту транспортера 3. Лента движется по диэлектрической пластине 10, в которой на определенном расстоянии друг от друга расположены три секции электродов 4. Зерно, перемещаясь по ленте над электродами, периодически проходит надэлектродную зону с переменным неоднородным электрическим полем высокой напряженности, а затем – зону релаксации (электрическое поле отсутствует). Все элементы устройства смонтированы на раме 13. Приводному барабану 6 сообщается вращающий момент от электродвигателя 8 посредством редуктора 9 и ременной передачи. Натяжной барабан 5 служит для создания необходимого натяжения ленты и обеспечения передачи тягового усилия от барабана к ленте. Лента 3 служит основным грузонесущим и тяговым элементом. Разгрузка происходит пересыпанием через натяжной барабан 5. Отходы сбрасываются щеткой 11 в лоток 12.

Наиболее важной частью процесса эксплуатации рассмотренной установки является выполнение работ по ее обслуживанию и ремонту. Рациональное планирование сроков и объемов проведения этих работ обеспечивает значительное повышение надежности электроактиватора, снижение эксплуатационных затрат, а также ущерба от его отказов. Однако реализация изложенных выше подходов требует наличия достоверной информации о текущем техническом состоянии электрооборудования, а также прогнозе его изменений. Это может быть обеспечено моделированием установки электроактивации биологической системы ячменя.

В упрощенном виде установку электроактивации можно представить в виде совокупности элементов (ленточного транспортера и секций электродов). Информация о принципах и методах моделирования составных частей транспортера, включая электродвигатель, приведена в литературных источниках [9, 10]. В данном случае наибольший интерес представляет моделирование изменения

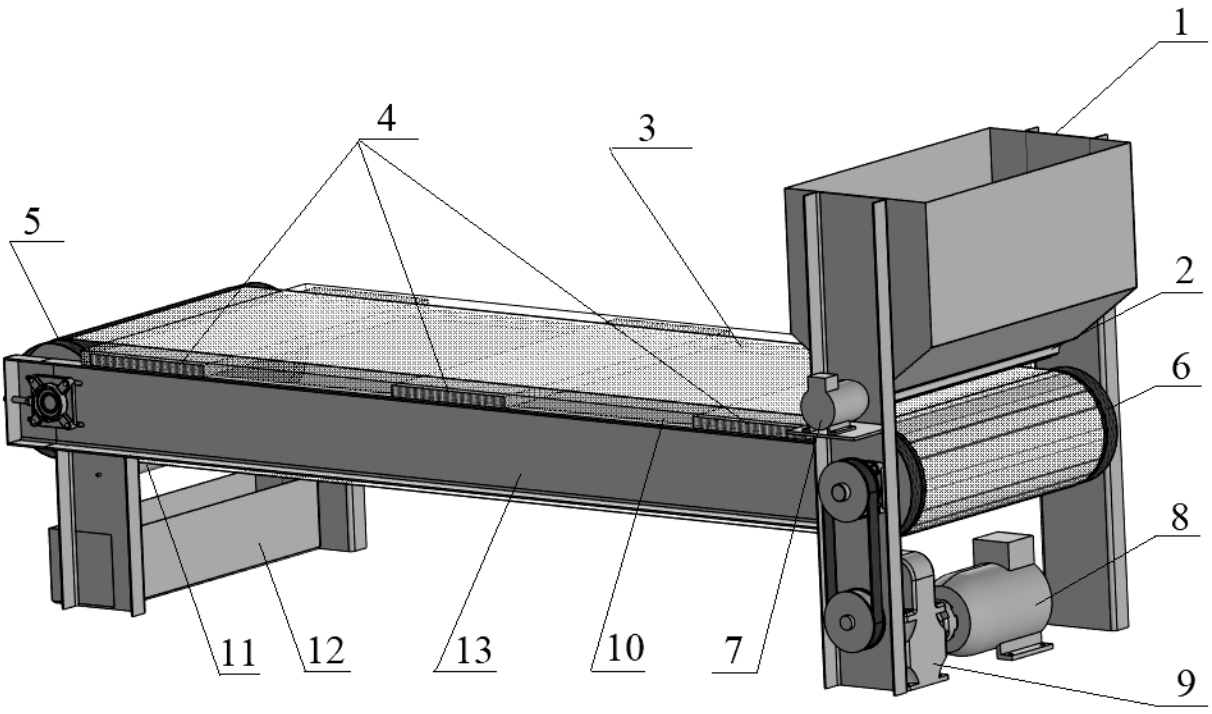


Рисунок 1. Конструктивные элементы электроактиватора: 1 – загрузочный бункер; 2 – валик-дозатор; 3 – лента транспортера; 4 – электродные секции; 5 – натяжной барабан; 6 – приводной барабан; 7 – электродвигатель привода валика-дозатора; 8 – электродвигатель привода барабана; 9 – редуктор; 10 – текстолитовая пластина; 11 – щетка; 12 – емкость для отходов; 13 – рама

параметров изоляции электродов в процессе эксплуатации, так как напряжение, подаваемое на них, значительно превышает стандартное напряжение сети.

Существуют различные математические модели для расчета остаточного ресурса электрической изоляции (Кучинского, Журкова, Аррениуса, Симони, Дакина и др.), основанные на механизмах ее деградации под действием термоокислительной деструкции и частичных разрядов [2-8], однако их применение в определении ресурса данного оборудования нецелесообразно. Согласно современным представлениям, основной причиной старения полимерной изоляции считают высокую рабочую температуру и воздействие частичных разрядов, которые возникают в дефектах и пустотах. ЧР создают локальные точки перегрева, вызывая химический распад (термоокислительную деструкцию) полимерных связей, что приводит к образованию трещин и эрозии («tracking» или «деструкция по пути ЧР»). Повышенная температура эксплуатации и приложенное напряжение значительно ускоряют процесс старения. Постепенная потеря диэлектрических свойств изоляции, увеличение потерь, накопление дефектов приводят к аварийному пробою.

Для принятой системы электродов, представляющих собой медные провода сечением 2,5 мм^2 с толщиной изоляции 0,8 мм, при подаче на них напряжения 2500 В, напряженность электрического поля в изоляции составляет 1,56 кВ/мм. Данное значение – усредненное. Вблизи поверхности жилы из-за кривизны поля напряженность может быть незначительно выше, однако для плотно прижатых жил с соизмеримой толщиной изоляции оно является корректным. Амплитудное значение напряженности поля – 2,2 кВ/мм, что близко к порогу ионизации воздуха (≈3 кВ/мм), поэтому ЧР могут возникать только в достаточно крупных порах.

Мощность ЧР определяют как сумму энергий отдельных импульсов за единицу времени [5]

$$P_{\text{ЧР}} = f \cdot \sum_{i=1}^{n} q_i \cdot U, \quad (1)$$

где f=50 – частота напряжения, Гц;

q_i – кажущийся заряд каждого импульса, Кл. Для новой ПВХ-изоляции обычно составляет от 10 до 100 пКл [5]. Примем среднее значение q=50 пКл ($50 \cdot 10^{12}$);

U – мгновенное напряжение в момент возникновения разряда, В;

n – число импульсов за один период. Для одиночного дефекта – от 2 до 6. Примем n=4 [5].

Подставив значения в формулу, получим:

$$P_{\text{ЧР}} = 50 \cdot 4 \cdot 50 \cdot 10^{-12} \cdot 2500 = 2,5 \cdot 10^{-5}\ \text{Вт}$$

Таким образом, мощность частичных разрядов от одного дефекта составляет около 25 мкВт.

Суммарный ток утечки ($I_{\text{ут}}$) для изоляции электродов представляет собой векторную сумму активной и реактивной (емкостной) составляющих:

$$I_{\text{ут}} = I_{\text{а}} + I_{\text{р}} = I_{\text{р}} \cdot \text{tg}\delta + I_{\text{р}}, \quad (2)$$

где $I_{\text{а}}$ – активная составляющая тока утечки, А;

$I_{\text{р}}$ – реактивная составляющая тока утечки, А;

tgδ – тангенс угла диэлектрических потерь.

Активная составляющая тока утечки значительно меньше реактивной составляющей (емкостного тока), так как величина tgδ для новой ПВХ-изоляции не превышает 0,05 [11].

$$I_{\text{р}} = 2\pi \cdot f \cdot C \cdot U, \quad (3)$$

где C – емкость для провода (от 100 до 500 пФ) [11].

$$I_{\text{р}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 500 \cdot 10^{-12} \cdot 2500 = 3,93 \cdot 10^{-4}\ \text{А}$$

$$I_{\text{ут}} = 3,93 \cdot 10^{-4} \cdot 0,02 + 3,93 \cdot 10^{-4} \approx 3,93 \cdot 10^{-4}\ \text{А}$$

При протекании тока менее $1 \cdot 10^{-3}$ А проводник нагревается незначительно. Поэтому для расчета ресурса изоляции температурное старение в математической модели не учитываем, в качестве механизма деградации рассматриваем электрическое старение за счет ЧР.

Старение ПВХ-изоляции электродных секций обусловлено частичным разрушением молекул полимера под действием комплекса внешних факторов, основным из которых являются частичные разряды. Следовательно, степень старения изоляции может быть оценена по количеству разрушенных молекул.

Количество разрушенных молекул за период времени t определяют по формуле [4]:

$$\Delta N = N_0 \cdot \left(1 - \exp(-K \cdot P_{\text{чр}} \cdot t)\right), \quad (4)$$

где N_0 – начальная концентрация молекул, м$^{-3}$;

K – коэффициент деструкции. Для новой ПВХ-изоляции значение $b = K \cdot P_{\text{чр}} = 10^{-9} \ldots 10^{-8}$ с$^{-1}$ [4];

t – время эксплуатации, с.

Начальная концентрация молекул [4]:

$$N_0 = \frac{\rho \cdot N_{\text{A}}}{M}, \quad (5)$$

где ρ – плотность материала изоляции, равная 1400 кг/м^3;

N_{A} – число Авогадро ($6,022 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$);

M – молярная масса, г/моль.

Для ПВХ-изоляции одного звена винилхлорида C_2H_3Cl молярная масса составляет приблизительно 62,5 г/моль, для полимерного ПВХ: $M_{\text{ПВХ}}$=62,5·N,

где N – степень полимеризации (для провода ПВ-3 составляет 1000-1500).

Начальная концентрация молекул:

$$N_0 = \frac{1400 \cdot 6,022 \cdot 10^{23}}{0,0625 \cdot 1000} = 1,35 \cdot 10^{25}\ \text{м}^{-3}$$

При рабочих параметрах (напряжении 2500 В, температуре окружающей среды не более 40 ºС) и времени эксплуатации 1 год ($3,15 \cdot 10^7$ с) количество разрушенных молекул составит:

$$\Delta N = 1,35 \cdot 10^{25} \cdot \left(1 - \exp(-10^{-9} \cdot 3,15 \cdot 10^7)\right) =$$

$$= 1,35 \cdot 10^{25} \cdot 0,031 = 4,18 \cdot 10^{23}\ \text{м}^{-3}$$

Коэффициент деградации по количеству молекул:

$$\alpha_N = \frac{\Delta N}{N_0}. \quad (6)$$

Подставим значение:

$$\alpha_N = \frac{4{,}18 \cdot 10^{23}}{1{,}35 \cdot 10^{25}} = 0{,}031$$

Доля разрушенных молекул составляет 3,1 % в год. Критическим значением является α_{Nkp} = 0,355, то есть 35,5 % [12].

При моделировании целесообразнее определить количество неразрушенных молекул. Предполагая, что зависимость $N(t)$ экспоненциальная, необходимо вычислить эмпирическую функцию [4]:

$$N_t = N_0 \cdot \mathrm{e}^{-b \cdot t} \quad (7)$$

Величина b может быть определена по формуле:

$$b = K \cdot P_{\text{ЧР}} \quad (8)$$

Предельная доля оставшихся молекул составит $\frac{N_t}{N_0} = 1 - \alpha_{Nkp} = 1 - 0{,}355 = 0{,}645$.

С учетом формулы (7):

$$\frac{N_t}{N_0} = \mathrm{e}^{-K \cdot P_{\text{ЧР}} \cdot t} \quad (9)$$

Логарифмируя формулу (9), получим:

$$\ln\left(\frac{N_t}{N_0}\right) = -K \cdot P_{\text{ЧР}} \cdot t \quad (10)$$

Из формулы (10) следует, что остаточный ресурс изоляции составит, с:

$$t = -\frac{\ln\left(\frac{N_t}{N_0}\right)}{K \cdot P_{\text{ЧР}}}. \quad (11)$$

Подставив значения в формулу (11), получим:

$$t = -\frac{-0{,}4385}{10^{-9}} = 4{,}385 \cdot 10^8 \text{ с, что составляет } 13{,}9 \text{ лет.}$$

При разрушении одного звена ПВХ выделяется одна молекула HCl. Следовательно, молярная масса HCl в полимерной молекуле ПВХ составит $N \cdot M_{\text{HCl}}$.

Определим потерю вещества в объеме изоляции через 1 год [13]:

$$\Delta m_V = \frac{\Delta N \cdot N \cdot M_{\text{HCl}}}{N_{\text{A}}}, \quad (12)$$

где M_{HCl} – молярная масса HCl (36,46 г/моль).

В пересчете на 1 метр погонный провода ПВ-3 сечением 2,5 мм^2 при диаметре жилы d=1,78 мм и толщине изоляции h=0,8 мм площадь сечения изоляции составляет:

$$S_{\text{из}} = \frac{\pi}{4} \cdot \left(D^2 - d^2\right), \quad (13)$$

где D – диаметр провода с изоляцией, мм.

$$S_{\text{из}} = \frac{3{,}14}{4} \cdot \left(3{,}38^2 - 1{,}78^2\right) =$$

$$= 6{,}48 \text{ мм}^2 = 6{,}48 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Объем изоляции на l =1 метр погонный:

$$V_{\text{из}} = S_{\text{из}} \cdot l \quad (14)$$

Подставим значения:

$$V_{\text{из}} = 6{,}48 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 6{,}48 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

Следовательно, потеря вещества на 1 м провода составит:

$$\Delta m_l = \frac{\Delta N \cdot N \cdot M_{HCl}}{N_{\text{A}}} \cdot V_{\text{из}} \quad (15)$$

$$\Delta m_l = \frac{4{,}18 \cdot 10^{23} \cdot 1000 \cdot 36{,}46}{6{,}022 \cdot 10^{23}} \cdot 6{,}48 \cdot 10^{-6} = 0{,}164 \text{ г}$$

Истончение изоляции составит:

$$\Delta h = R - \sqrt{R^2 - \frac{\Delta m_l}{\rho \cdot \pi \cdot l}}, \quad (16)$$

где R – радиус провода с изоляцией, мм.

$$\Delta h = 1{,}692 - \sqrt{1{,}692^2 - \frac{0{,}164}{0{,}0014 \cdot 3{,}14 \cdot 1000}} =$$

$$= 1{,}692 - 1{,}680 = 0{,}012 \text{ мм}$$

Толщина изоляции составит:

$$h_{final} = h - \Delta h \quad (17)$$

$$h_{final} = 0{,}8 - 0{,}012 = 0{,}788 \text{ мм}$$

В таблице 1 представлен расчет приведенных характеристик по годам до момента выхода проводника из строя (табл. 1).

К моменту достижения порога деградации 35,5% (13,9 лет) потеря массы изоляции составит около 2 г на метр погонный. С учетом того, что общая масса изоляции на 1 метр составляет около 9,07 г, величина потери будет ~20 % от веса полимера. Суммарное истончение достигает 0,131 мм (или 16,4 % от исходной толщины). К этому времени структура изоляции практически на 20 % будет состоять из микропор, за счет чего электрическая прочность уменьшится значительно быстрее, чем толщина изоляции, а, следовательно, увеличится мощность ЧР. Указанный эффект не учтен в формуле (11), поэтому она требует корректировки с учетом результатов периодического диагностирования изоляции.

Для определения фактической степени деградации при диагностировании целесообразно измерять тангенс угла диэлектрических потерь. В отличие от измерения сопротивления ($R_{\text{ИЗ}}$), результаты которого сильно зависят от влажности и температуры, tgδ отражает объемные изменения в структуре изоляции. Данный параметр характеризует процесс ионизации в микропорах, вызванной высоким напряжением.

Таблица 1. Изменение параметров изоляции в процессе эксплуатации

Время эксплуатации, год	Количество разрушенных молекул ΔN, $м^{-3}$	Доля разрушенных молекул α_N, %	Потеря вещества на 1 м.п провода Δm_l, г	Толщина изоляции h_{final}, мм
1	$4{,}18\cdot10^{23}$	3,1	0,164	0,788
2	$8{,}25\cdot10^{23}$	6,11	0,324	0,777
3	$1{,}22\cdot10^{24}$	9,3	0,479	0,767
4	$1{,}598\cdot10^{24}$	11,9	0,628	0,756
5	$1{,}968\cdot10^{24}$	14,6	0,773	0,746
6	$2{,}35\cdot10^{24}$	17,2	0,914	0,736
7	$2{,}67\cdot10^{24}$	19,8	1,047	0,727
8	$3{,}01\cdot10^{24}$	22,3	1,181	0,718
9	$3{,}33\cdot10^{24}$	24,7	1,306	0,709
10	$3{,}65\cdot10^{24}$	27,1	1,432	0,701
11	$3{,}96\cdot10^{24}$	29,32	1,553	0,692
12	$4{,}25\cdot10^{24}$	31,53	1,667	0,684
13	$4{,}54\cdot10^{24}$	33,67	1,781	0,676
13,9	$4{,}79\cdot10^{24}$	35,5	1,879	0,669

Тогда коэффициент деградации α_t в момент времени t (совпадает с моментом диагностирования при измерении тангенса угла диэлектрических потерь) можно рассчитать по формуле [12]:

$$\alpha_t = \frac{\ln\left(\frac{\mathrm{tg}\delta_{изм}}{\mathrm{tg}\delta_0}\right)}{B}, \qquad (18)$$

где $\mathrm{tg}\delta_0$ =0,05 – начальное значение тангенса угла диэлектрических потерь для нового ПВХ (при 50 Гц) [14];

$\mathrm{tg}\delta_{изм}$ – измеренное значение тангенса угла диэлектрических потерь в момент времени t. За год эксплуатации высоковольтного кабеля оно составляет приблизительно 0,0585. Для расчетов примем данное значение;

B – коэффициент, отражающий рост дипольных потерь и проводимости. Для ПВХ – B=3,0…5,5. В первоначальных расчетах принимаем: B=5 [14].

Подставив значения в формулу (18), получим:

$$\alpha_t = \frac{\ln\left(\frac{0{,}0585}{0{,}05}\right)}{5} = 0{,}031$$

Мощность ЧР увеличивается пропорционально объему газовых включений (микропор) и интенсивности ионизации. Для определения скорректированной мощности ЧР в ПВХ-изоляции используем комбинированную эмпирическую формулу. Она связывает геометрические параметры пор и энергию электрических импульсов. Для корректного моделирования изменения технического состояния изоляции электродов необходимо учитывать фактор времени. Мощность частичных разрядов с учетом результатов периодического диагностирования изоляции определим по формуле:

$$P_{ЧР} = P_{ЧР0}\cdot\left(1 + A\cdot\alpha_t^{\,n}\right), \qquad (19)$$

где $P_{ЧР0}$ – начальная мощность ЧР, Вт;

A – коэффициент интенсивности ионизации (для ПВХ в пористой структуре составляет 300…1000) [11];

n – показатель степени, отражающий скорость объединения микропор (n=2,5…3) [11].

Для расчетов воспользуемся формулой относительного значения мощности ЧР:

$$\frac{P_{ЧР}}{P_{ЧР0}} = \left(1 + A\cdot\alpha_t^{\,n}\right); \qquad (20)$$

$$\frac{P_{ЧР}}{P_{ЧР0}} = \left(1 + 950\cdot 0{,}031^{2{,}5}\right) = 1{,}17$$

Согласно закону Ома, ток утечки в изоляции определяют по формуле:

$$I_{ут} = \frac{U}{R_{ИЗ}}. \qquad (21)$$

С ростом деградации сопротивление изоляции уменьшается по экспоненциальному закону:

$$R_{ИЗ}(t) = R_0\cdot e^{-D\cdot\alpha_t}, \qquad (22)$$

где R_0 – начальное сопротивление ПВХ изоляции, Ом;

D – коэффициент падения диэлектрических свойств для ПВХ – D=18…20 [11]. В расчетах принимаем: D =18.

Результаты расчетов по формулам (19) – (22) представлены в таблице 2.

Частичные разряды вызывают локальное разрушение диэлектрика. Поэтому предлагаем использовать вместо коэффициента деградации в момент времени (t) динамический коэффициент деградации изоляции электродов с учетом увеличения мощности ЧР в микропорах по мере

Таблица 2. Зависимость тока утечки от увеличения мощности частичных разрядов

Время эксплуатации, год	Соотношение мощности частичных разрядов ($P_{ЧР}/P_{ЧР0}$)	Сопротивление изоляции $R_{ИЗ}$ МОм/м	Ток утечки, $I_{ут}$ мА
1	1,17	286,2	0,009
2	1,94	166,5	0,015
3	3,53	93,7	0,027
4	5,74	58,7	0,043
5	8,94	36,1	0,069
6	13,22	22,6	0,111
7	18,59	14,2	0,177
8	24,32	9,0	0,277
9	31,35	5,9	0,426
10	38,93	3,8	0,657
11	47,70	2,6	0,979
12	36,41	1,7	1,458
13	29,49	1,2	2,143
13,9	24,19	0,8	2,979

электрического старения ПВХ. Тогда, преобразуя формулу (18), учитывая результаты периодического диагностирования изоляции, получим динамический коэффициент деградации:

$$\alpha_{дин} = \frac{\ln\left(\frac{tg\delta_{изм}}{tg\delta_0}\right)}{B} \cdot \sqrt{\frac{P_{ЧР}}{P_{ЧР0}}} = \alpha_t \cdot \sqrt{\frac{P_{ЧР}}{P_{ЧР0}}}. \quad (23)$$

где $\sqrt{\frac{P_{ЧР}}{P_{ЧР0}}}$ – коэффициент изменения мощности ЧР. Позволяет математически корректно перейти от суммы единичных пиковых выбросов энергии (ЧР) к их усредненному, интегральному воздействию на диэлектрик.

На основании изложенного выше определим динамический коэффициент деградации через 1 год, подставив ранее приведенные результаты вычислений по формулам (18) и (20):

$$\alpha_{дин} = 0,031 \cdot \sqrt{1,17} = 0,031 \cdot 1,08 = 0,034$$

Результаты расчетов по уточненным данным приведены в таблице 3. На рисунке 2 представлен график изменения толщины ПВХ-изоляции электродов в зависимости от времени эксплуатации под действием частичных разрядов.

Таблица 3. Изменение характеристик ПВХ-изоляции электродных секций с использованием динамического коэффициента

Время эксплуатации, год	Доля разрушенных молекул, %	$P_{ЧР}/P_{ЧР0}$	$\sqrt{\frac{P_{ЧР}}{P_{ЧР0}}}$	Доля разрушенных молекул после уточнения, %	Толщина изоляции h_{final}, мм
1	3,1	1,17	1,08	3,4	0,788
2	6,11	1,94	1,77	8,6	0,769
3	9,3	3,53	2,33	17,2	0,738
4	11,9	5,74	2,98	28,2	0,696
5	14,6	8,94	3,67	43,2	пробой

Из сопоставления результатов расчетов, представленных в таблицах 1 и 3, следует, что за 4 года изоляция теряет столько же массы и толщины, сколько в обычном режиме теряла бы за 13,9 лет. Это связано с тем, что ЧР в порах при напряжении 2500 В работают как микровзрывы, вытесняя HCl из структуры ПВХ значительно быстрее. Уточненное расчетное значение истончения к моменту отказа составляет 0,130 мм, и этот порог достигается в 3,5 раза быстрее из-за ионизационных процессов.

При прогнозировании остаточного ресурса изоляции авторы предлагают использовать разработанную математическую модель, адаптированную для работы под высоким напряжением при достаточно низких рабочих температурах. Тогда остаточный ресурс изоляции после очередного диагностирования может быть определен по формуле (11) с учетом увеличения мощности ЧР (19) и динамического коэффициента деградации (23):

$$t = -\frac{\ln\left(\frac{N_t}{N_0}\right)}{K \cdot P_{ЧР0} \cdot \left(1 + A \cdot \left(\frac{\ln\left(\frac{tg\delta_{изм}}{tg\delta_0}\right)}{B} \cdot \sqrt{\frac{P_{ЧР}}{P_{ЧР0}}}\right)^n\right)}. \quad (24)$$

Разработанная математическая модель позволяет перейти от «календарного» планирования замены электродов в электродной секции электроактиватора к их замене по фактическому состоянию.

Заключение

Прогнозирование ресурса службы изоляции по фактическому состоянию позволяет более точно предсказывать, как долго прослужат электроды в производственных условиях. Согласно [15], диагностирование изоляции производят один раз в год. Исходя из данных таблицы 3, периодичность контроля технического состояния изоляции необходимо производить не менее чем один раз в 3 месяца до значения tgδ=0,2. При превышении указанного значения тепловыделения в диэлектрике становятся настолько значительными, что деградация переходит в термическую стадию и электрод может загореться даже при отсутствии токовой нагрузки на жилу [14].

Применение предложенной математической модели способствует повышению эксплуатационной надежности, снижает ущерб от внезапных отказов и позволяет планировать ремонты и замены проводников в электродных секциях более эффективно.

Данная математическая модель может быть использована для оптимизации работ по эксплуатации высоковольтного оборудования малой мощности, такого как диэлектрические сепараторы, ионизаторы, маломощные высоковольтные источники питания, коммутационные аппараты, а также другие подобные устройства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бондарчук, О.В. Методика расчета основных узлов электроактиватора биологической системы ячменя / О.В. Бондарчук // Агропанорама. – 2022. – № 3. – С. 25-28.

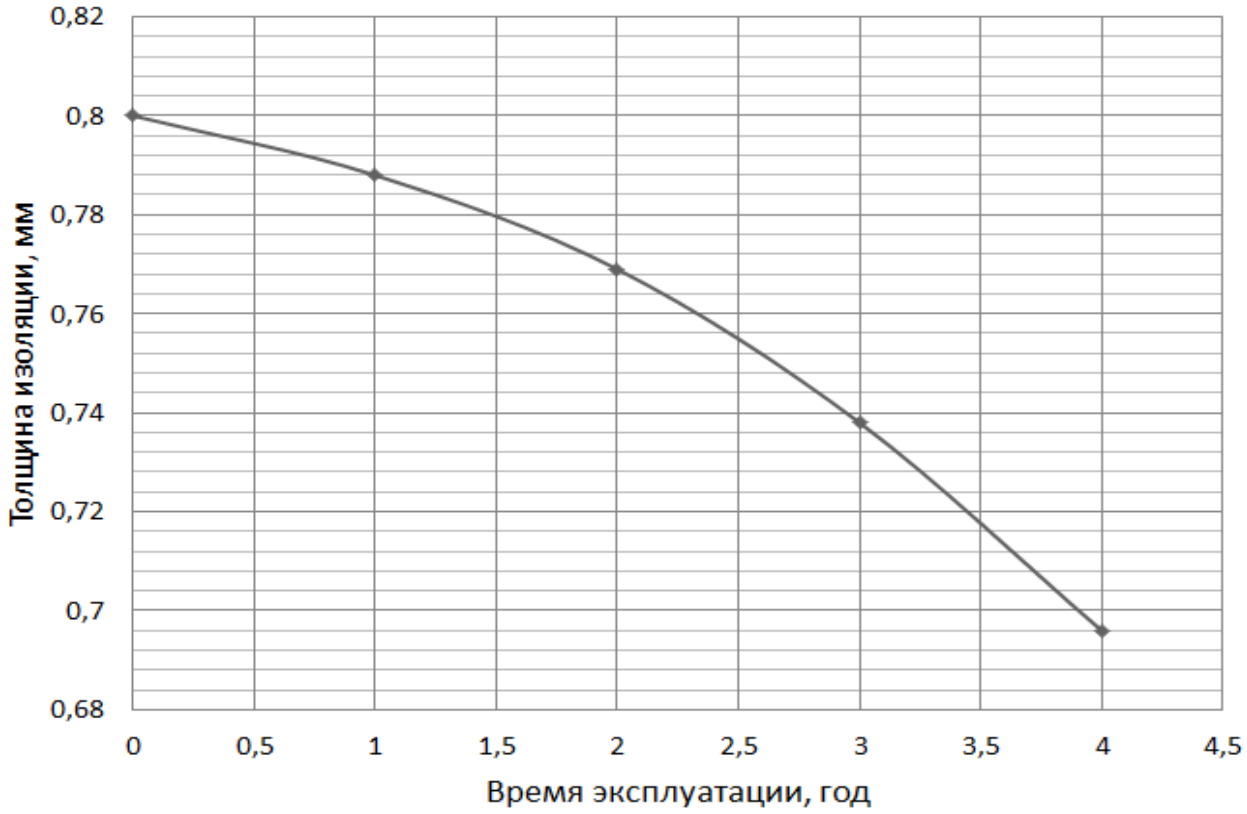


Рисунок 2. Изменение толщины ПВХ изоляции электродов в зависимости от времени эксплуатации под действием частичных разрядов

2. Журков, С.Н. Кинетическая концепция прочности твердых тел / С.Н. Журков // Вестник АН СССР. – 1968. – № 3. – С. 46-52.

3. Dakin, T.W. Electrical Insulation Deterioration Treated as a Chemical Rate Phenomenon / T.W. Dakin // AIEE Transactions. – 1948. – Vol. 67. – P. 113-122.

4. Кучинский, Г.С. Изоляция установок высокого напряжения: учебник для вузов / Г.С. Кучинский, В.Е. Кизеветтер, Ю.С. Пинталь; под общ. ред. Г.С. Кучинского. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.

5. Кучинский, Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях / Г.С. Кучинский. – Л.: Энергия, 1979. – 224 с.

6. Dissado, L.A. Electrical Degradation and Breakdown in Polymers / L.A. Dissado, J.C. Fothergill. – London: Peter Peregrinus Ltd., 1992. – 601 p.

7. Montanari, G.C. A theoretical outline for selection of the voltage life model / G.C. Montanari // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. – 1994. – Vol. 1, № 6. – P. 1092-1103.

8. Simoni, L. A general approach to the endurance of electrical insulation under combined stress / L. Simoni // IEEE Transactions on Electrical Insulation. – 1981. – Vol. EI-16, № 6. – P. 477-489.

9. Дмитриева, В.В. Анализ математических моделей ленточного конвейера при различном числе аппроксимирующих масс / В.В. Дмитриева, П.Е. Сизин // Горный информационно-аналитический бюллетень (науч.-техн. журнал). – 2022. – № 1. – С. 34-46.

10. Овчаров, В.В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве / В.В. Овчаров. – Киев: УСХА, 1990. – 168 с.

11. Тареев, Б.М. Физика диэлектрических материалов / Б.М. Тареев. – М.: Энергоиздат, 1982. – 320 с.

12. Поляков, Д.А. Математическое моделирование срока службы полимерной изоляции кабелей / Д.А. Поляков, М.А. Холмов, Д.И. Плотников // Омский научный вестник. – 2020. – № 6 (174). – С. 69-73.

13. Минскер, К.С. Деструкция и стабилизация поливинилхлорида / К.С. Минскер, Г.Т. Федосеева. – М.: Химия, 1979. – 272 с.

14. Борисова, М.Э. Физика диэлектриков / М.Э. Борисова, С.Н. Койков. – Л.: ЛГУ, 1979. – 240 с.

15. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей: ТКП 181-2023. – Введ. 28.02.2025. – Минск: Минэнерго, 2025. – 203 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 06.04.2026

УДК 621.432/004.932
https://doi.org/10.56619/2078-7138-2026-175-3-27-32

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПРЕСС-ТЕСТИРОВАНИЯ МОТОРНЫХ МАСЕЛ, ОСНОВАННЫЕ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА IMAGEJ. ЧАСТЬ 8. МЕТОДИКА БЕСПРИБОРНОЙ ОЦЕНКИ ЦВЕТА НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ ШКАЛЫ ASTM D 1500

В.К. Корнеева,
доцент каф. технологии металлов БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В.М. Капцевич,
зав. каф. технологии металлов БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

В.В. Остриков,
преподаватель-стажер каф. технологии металлов БГАТУ

Е.Е. Пернач,
студент факультета технического сервиса в АПК БГАТУ

И.С. Королец,
студент факультета технического сервиса в АПК БГАТУ

Предложен и реализован сквозной аналитический алгоритм преобразования абстрактных хроматических координат системы RGB USC балльной шкалы ASTM D 1500 в международное цифровое пространство sRGB через промежуточные системы CIE xyY и CIE XYZ. Для автоматизации измерений в среде ImageJ разработан программный макрос ASTM-OilColor_Analyzer. Идентификация цвета пробы нефтепродукта осуществляется по критерию минимизации евклидова цветового расстояния ΔERGB между экспериментальными координатами и эталонной цифровой sRGB-матрицей. Разработанная методика характеризуется низкими аппаратными требованиями и высокой скоростью анализа, что делает ее эффективным инженерным инструментом для экспресс-тестирования нефтепродуктов непосредственно в условиях организаций АПК.

Ключевые слова: нефтепродукты, экспресс-диагностика, колориметрия, шкала ASTM D 1500, цветовое пространство sRGB, ImageJ, макрос.

A comprehensive analytical algorithm has been proposed and implemented to transform abstract chromatic coordinates from the RGB USC scale of the ASTM D 1500 point system into the international digital sRGB space via the intermediate CIE xyY and CIE XYZ systems. To automate measurements in the ImageJ environment, the ASTM-OilColor_Analyzer software macro has been developed. Motor oil sample color identification is performed based on the criterion of minimizing the Euclidean color distance ΔERGB between the experimental coordinates and the reference sRGB digital matrix. The developed method is characterized by low hardware requirements and high analysis speed, making it an effective engineering tool for express testing of motor oil directly in agricultural facilities.

Keywords: motor oil, express diagnostics, colorimetry, ASTM D 1500 scale, sRGB color space, ImageJ, macro.

Введение

Эффективность и надежность эксплуатации автотракторной техники в агропромышленном комплексе зависят от качества используемых нефтепродуктов, которые в процессе работы ДВС подвергаются интенсивному термическому, механическому и химическому воздействию, что приводит к их постепенному старению и деградации [1]. Одним из ключевых, информативных и оперативно фиксируемых индикаторов состояния нефтепродуктов является их цвет [2]. По изменению цвета нефтепродукта можно судить о степени термоокислительной деструкции его базовой основы, накоплении дисперсных примесей (сажи, нагара), продуктов износа трущихся деталей,

попадании пыли и воды, а также об истощении пакета функциональных присадок.

Одним из простых и доступных методов оценки цвета нефтепродутов является их оценка по балльной цветовой шкале *ASTM D* 1500 [3, 4], который базируется на визуальном сравнении цвета образца с цветом набора 16 эталонных стандартных цветных стекол с использованием специализированных приборов – колориметров, например, ЦНТ (РФ), Цвет-ПХП (РФ), *Koehler Instrument K*13290 (США), *Huazheng Electric HZSD*-29 (КНР) и др. Такие приборы, имеющие высокую стоимость, позволяют проводить оценку цвета нефтепродукта только в лабораторных условиях. Кроме того, проводимая визуальная оценка цвета из-за индивидуальных особенностей человеческого зрения и изменчивости условий освещения может характеризоваться высокой погрешностью и низкой воспроизводимостью результатов. В связи с этим актуальной научно-производственной задачей является цифровизация контроля и создание доступной, объективной и бесприборной экспресс-методики оценки цвета нефтепродуктов.

Современный уровень развития цифровой техники и алгоритмов компьютерного зрения открывает широкие перспективы для использования мобильных устройств и свободно распространяемого программного обеспечения, в частности программного комплекса *ImageJ* [5], для оперативного контроля цветовых характеристик нефтепродуктов. Однако прямое использование цифровых изображений затруднено в связи с тем, что исходные спектральные характеристики эталонов *ASTM D* 1500, зафиксированные в абстрактных координатах системы *RGB USC* [4] и не являющиеся координатами цифрового цветового пространства, не могут быть использованы для визуализации и воспроизведения эталонных цветов на цифровых устройствах. В то же время, международный стандарт *sRGB* [6], разработанный для отображения цветов на экранах, в интернете и печати, может быть использован для цифровизации шкалы *ASTM D* 1500. Такая цифровая шкала может служить основой для разработки новой методики экспресс-оценки цвета нефтепродукта.

Целью работы является построение цифровой версии шкалы *ASTM D* 1500 в пространстве *sRGB* и разработка на ее основе бесприборной автоматизированной методики экспресс-оценки цвета нефтепродуктов с использованием программного комплекса *ImageJ*.

Основная часть

Построение цифровой версии шкалы *ASTM D* 1500. Для построения цифровой версии шкалы *ASTM D* 1500 (для отображения на экране или в печатных материалах) авторами предложено преобразовать значения координат системы *RGB USC* из стандарта [4] в координаты цветового пространства *sRGB*.

В таблице 1 [4] для каждого цвета шкалы (0,5-8,0) представлены значения координат R_M, G_M и B_M в системе *RGB USC* и значения светового коэффициента пропускания T_w.

Таблица 1. Координаты R_M, G_M и B_M в системе *RGB USC* и световой коэффициент пропускания T_w

Цвет по *ASTM*	Координаты цветности (система *RGB USC*)			Световой коэффициент пропускания (стандартный источник света *C CIE*) T_w
	красный R_M	зеленый G_M	синий B_M	
0,5	0,462	0,473	0,065	0,86 ± 0,06
1,0	0,489	0,475	0,036	0,77 ± 0,06
1,5	0,521	0,464	0,015	0,67 ± 0,06
2,0	0,552	0,442	0,006	0,55 ± 0,06
2,5	0,582	0,416	0,002	0,44 ± 0,04
3,0	0,611	0,388	0,001	0,31 ± 0,04
3,5	0,640	0,359	0,001	0,22 ± 0,04
4,0	0,671	0,328	0,001	0,152 ± 0,022
4,5	0,703	0,296	0,000	0,109 ± 0,016
5,0	0,736	0,264	0,000	0,081 ± 0,012
5,5	0,770	0,230	0,000	0,058 ± 0,010
6,0	0,805	0,195	0,000	0,040 ± 0,008
6,5	0,841	0,159	0,000	0,026 ± 0,006
7,0	0,877	0,123	0,000	0,016 ± 0,004
7,5	0,915	0,085	0,000	0,0081 ± 0,0016
8,0	0,956	0,044	0,000	0,0025 ± 0,0006

Координаты R_M, G_M и B_M в системе *RGB USC* представляют собой абстрактные хроматические координаты в треугольнике Максвелла [7], в котором выполняется условие:

$$R_M + G_M + B_M = 1.$$

Эти координаты представляют собой относительные доли воображаемых первичных цветов и не являются цифровыми значениями интенсивности каждого цвета в диапазоне [0, 255], как в пространстве *sRGB*. Световой коэффициент пропускания T_w характеризует фотопическое светопропускание эталонных цветных стекол шкалы *ASTM D* 1500 при освещении стандартным источником света *CIE Standard Source C* [8]. Таким образом, данные таблицы 1 напрямую не связаны с пространством *sRGB* и не могут быть интерпретированы как цифровые цвета.

Для корректного построения цифрового изображения шкалы *ASTM D* 1500 авторами предложен алгоритм преобразования *RGB USC* в *sRGB* по следующей схеме:

$$RGB\ USC \rightarrow CIE\ xyY \rightarrow CIE\ XYZ \rightarrow sRGB.$$

Такой порядок действий позволяет абстрактные координаты *RGB USC* перевести в систему *CIE xyY*, совместимую с международным стандартом *CIE* 1931 [8], далее преобразовать ее в пространство *CIE XYZ*, являющееся универсальной опорной моделью для всех современных цветовых пространств, и осуществить заключительный переход в пространство *sRGB*, обеспечивающее корректное воспроизведение цветов на экране и в печати в соответствии с международным стандартом *IEC* 61966-2-1:1999 [6].

Предложенный алгоритм преобразования выполнялся следующим образом.

RGB USC → CIE xyY. Такое преобразование основано на том, что координаты R_M, G_M и B_M в системе *RGB USC* эквивалентны координатам цветности *x* и *y* в системе *CIE xyY*, а параметр T_w напрямую интерпретируется как *Y* (яркость). Таким образом, переход в *xyY*, являющийся единственным корректным способом связать данные *ASTM* с международной цветометрической системой, был выполнен с помощью следующих преобразований [8]:

$$x = \frac{R}{R+G+B};\ y = \frac{G}{R+G+B};\ Y = T_w.$$

Так, например, для цвета 2,0 по *ASTM D* 1500: *x* = 0,552; *y* = 0,442; *Y* = 0,55.

CIE xyY → CIE XYZ. Это преобразование выполнялось с использованием стандартных выражений [8]:

$$X = \frac{x}{y}Y;\ Z = \frac{1-x-y}{y}Y;\ Y = T_w.$$

Так, например, для цвета 2,0 по *ASTM D* 1500: *X* = 0,6869; *Y* = 0,55; *Z* = 0,0075.

CIE XYZ → sRGB. При осуществлении данного преобразования было учтено, что цифровое пространство *sRGB* имеет два уровня представления: линейное и гамма-корректированное.

Линейные значения sRGB, которые пропорциональны энергетическим характеристикам излучения – интенсивности света, используются для корректных вычислений: моделирования цветосмешения, статистической обработки или пересчета в другие цветовые пространства. Для перевода значений *X*, *Y* и *Z* в линейные значения R_{lin}, G_{lin} и B_{lin} использовали стандартную матрицу *IEC* 61966-2-1:1999 [6]:

$$\begin{vmatrix} R_{lin} \\ G_{lin} \\ B_{lin} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 3,2406 & -1,5372 & -0,4986 \\ -0,9689 & 1,8758 & 0,0415 \\ 0,0557 & -0,2040 & 1,0570 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix}.$$

Так, например, для цвета 2,0 по *ASTM D* 1500: R_{lin} = 1,3767; G_{lin} = 0,3665; B_{lin} = –0,0661.

Гамма-корректированные значения sRGB – это значения *R*, *G* и *B*, полученные из соответствующих линейных значений путем применения стандартной кусочно-линейной гамма-функции, определенной в *IEC* 61966-2-1:1999 [6]. Такая коррекция моделирует нелинейную чувствительность человеческого зрения к яркости и обеспечивает согласованное воспроизведение цветов на экранах и устройствах вывода изображений. Гамма-коррекция выполняется по формулам:

$$C' = \begin{cases} 12,92C_{lin} & \text{при } C_{lin} \le 0,0031308; \\ 1,055C_{lin}^{1/24} - 0,055 & \text{при } C_{lin} > 0,0031308, \end{cases}$$

где C_{lin} – линейное значение R_{lin}, G_{lin} или B_{lin}, а *C'* – гамма-корректированное значение.

Так, например, для цвета 2,0 по *ASTM D* 1500: *R* = 1,1503; *G* = 0,6394; *B* = –0,8534.

Полученные значения *sRGB*, как линейные, так и гамма-корректированные, являются математически корректными промежуточными результатами. Однако в цифровой реализации стандарта *IEC* 61966-2-1:1999 допускаются только координаты со значениями в диапазоне [0; 1], поэтому для практического использования осуществляется ограничение их значений путем обрезки за пределами допустимого интервала. Тогда для цвета 2,0 по *ASTM D* 1500: R_{lin} = 1,0; G_{lin} = 0,3665; B_{lin} = 0; *R* = 1,0; *G* = 0,6394; *B* = 0, или в 8-битном представлении: R_{lin} = 255; G_{lin} = 93; B_{lin} = 0; *R* = 255; *G* = 163; *B* = 0.

В таблице 2 представлены расчетные линейные значения *sRGB* цветовой шкалы *ASTM D* 1500.

Полученные линейные значения *sRGB* (табл. 2), помимо их использования для пересчета в другие цветовые пространства, например, *CIE XYZ*, *CIE Lab*, *HSB* и др. для количественной оценки оттенка, насыщенности и цветовых различий, могут быть применимы при моделировании процессов светопропускания и окрашивания нефтепродукта, что расширяет возможности интерпретации физических механизмов изменения цвета.

Таблица 2. Линейные значения *sRGB ASTM D 1500*

Балл *ASTM*	R_{lin}	G_{lin}	B_{lin}	Балл *ASTM*	R_{lin}	G_{lin}	B_{lin}
0,5	255	205	0	4,5	171	0	0
1	255	173	0	5	155	0	0
1,5	255	135	0	5,5	138	0	0
2	255	93	0	6	121	0	0
2,5	255	58	0	6,5	103	0	1
3	255	28	0	7	88	0	1
3,5	238	8	0	7,5	69	0	1
4	197	0	0	8	44	0	1

Цифровое изображение цветовой шкалы *ASTM D* 1500, полученное по рассчитанным гамма-корректированным значениям *sRGB* (табл. 3), представлено на рисунке 1.

Разработка бесприборной методики оценки цвета нефтепродуктов с использованием программы *ImageJ*. На основе построенной цифровой версии шкалы *ASTM D* 1500 была разработана экспресс-методика автоматизированной оценки цвета нефтепродуктов в среде *ImageJ*.

Для обеспечения точности и воспроизводимости результатов автоматизированного анализа необходимо минимизировать влияние внешнего освещения на регистрируемый цвет пробы. Съемка исследуемых проб должна осуществляться при стандартизированных условиях: использование рассеянного белого

Таблица 3. Гамма-корректированные значения *sRGB ASTM D 1500*

Балл *ASTM*	*R*	*G*	*B*	Балл *ASTM*	*R*	*G*	*B*
0,5	255	232	0	4,5	214	0	0
1	255	215	0	5	205	0	0
1,5	255	192	0	5,5	194	0	0
2	255	163	0	6	183	0	3
2,5	255	132	0	6,5	171	0	8
3	255	93	0	7	159	0	10
3,5	247	51	0	7,5	142	0	11
4	228	0	0	8	115	0	8

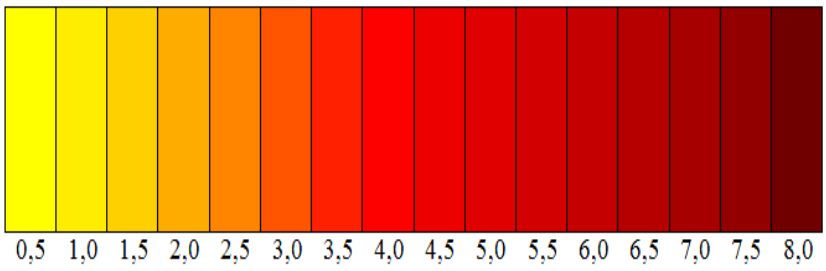


Рисунок 1. Цифровое изображение цветовой шкалы ASTM D 1500

освещения (желательно приближенного к стандартному источнику света *C CIE*); расположение объектива цифровой камеры строго перпендикулярно поверхности пробы для исключения геометрических искажений и световых бликов; наличие в кадре тестового белого эталона для последующей программной корректировки баланса белого при наличии отклонений в условиях съемки.

Для минимизации ошибок и ускорения проведения экспресс-анализа разработанный колориметрический алгоритм сопоставления цвета цифрового изображения исследуемого нефтепродукта с цифровой шкалой *ASTM D* 1500 был автоматизирован путем написания макроса *ASTM-OilColor_Analyzer* в среде *ImageJ* (рис. 2).

Автоматизированный алгоритм работы программы включает в себя следующие последовательные этапы: интерактивное выделение зоны интереса (*ROI*); преобразование выделенной области в цветовой стек (*RGB Stack*); бесконтактное считывание среднего арифметического значения яркости отдельно для красного $R_{экс}$, зеленого $G_{экс}$ и синего $B_{экс}$ каналов. На основе полученных экспериментальных цветовых координат рас-

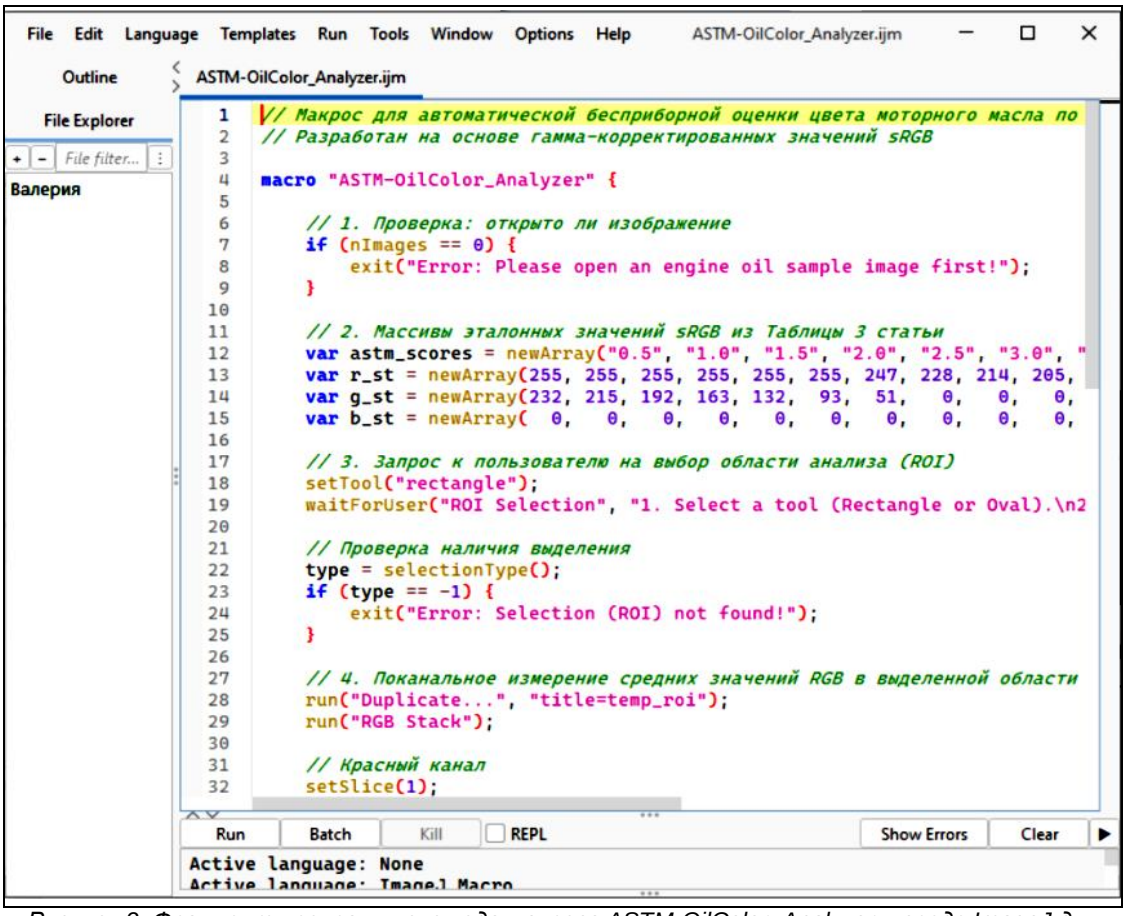


Рисунок 2. Фрагмент программного кода макроса ASTM-OilColor_Analyzer в среде ImageJ для автоматизированного определения балльной оценки цвета по шкале ASTM D 1500

считывается евклидово цветовое расстояние ΔE_{RGB} до каждого из 16 эталонных значений теоретической *sRGB*-матрицы (табл. 3) по формуле:

$$\Delta E_{RGB} = \sqrt{\left(R_{экс} - R\right)^2 + \left(G_{экс} - G\right)^2 + \left(B_{экс} - B\right)^2}\ .$$

Программа производит оптимизацию и присваивает цифровому изображению исследуемого нефтепродукта балл соответствующего элемента шкалы *ASTM* с минимальным значением ΔE_{RGB}.

Результат экспресс-оценки выводится на экран в виде информационного диалогового окна «*Analysis Result*» с указанием установленного балла «*ASTM D* 1500: …», значений цветовых координат «*Measured RGB*: ….» и величины погрешности сходимости цвета ΔE_{RGB} «*Error* (*dE*): …». В качестве примера на рисунке 3 представлен результат автоматизированной балльной оценки с использованием составленного макроса для цветового элемента шкалы *ASTM D* 1500 с баллом 2.

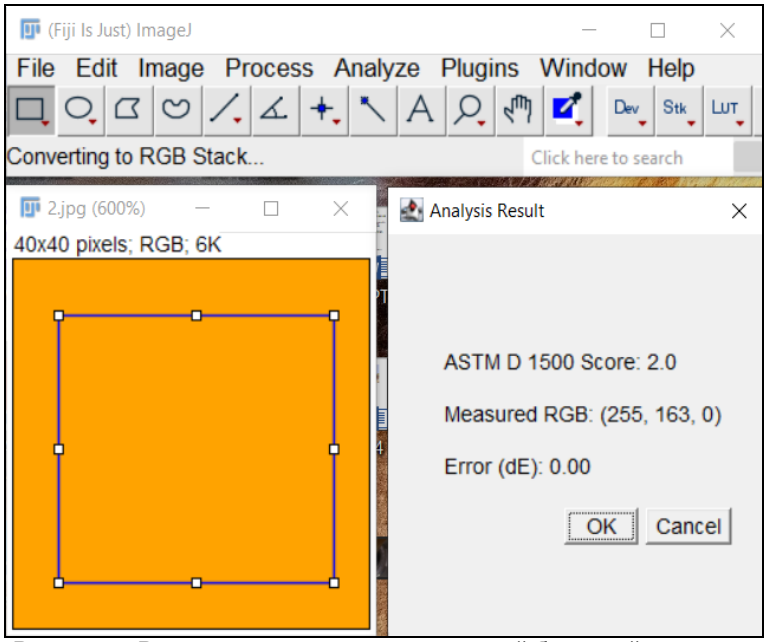


Рисунок 3. Результат автоматизированной балльной оценки по шкале ASTM D 1500 с использованием разработанного макроса ASTM-OilColor_Analyzer

Внедрение разработанного макроса позволяет оперативно и объективно контролировать цвет нефтепродуктов без привлечения специализированного лабораторного оборудования.

Заключение

В результате проведенных исследований решена важная прикладная задача по цифровизации контроля качества нефтепродуктов, используемых в мобильной технике АПК.

Разработан и математически обоснован алгоритм сквозного аналитического преобразования абстрактных хроматических координат системы *RGB USC* стандарта *ASTM D* 1500 в международное цифровое цветовое пространство *sRGB*. Рассчитаны точные матрицы линейных и гамма-корректированных значений интенсивности излучения по базовым каналам (*R*, *G*, *B*) для всех 16 цветовых элементов эталонной шкалы.

Создана бесприборная методика автоматизированной экспресс-оценки цвета нефтепродуктов, базирующаяся на анализе цифровых изображений проб в среде *ImageJ*. Использование математического критерия минимизации евклидова цветового расстояния ΔE_{RGB} между координатами экспериментальной пробы и разработанной *sRGB*-матрицей эталонов полностью исключает субъективный фактор при идентификации цвета.

Разработанный алгоритм успешно реализован в виде программного макроса *ASTM-OilColor_Analyzer* для среды *ImageJ*. Программный модуль в интерактивном режиме осуществляет поканальное сканирование выбранной зоны интереса (*ROI*), сопоставляет полученные параметры с эталонной базой данных и мгновенно выводит итоговую оценку состояния нефтепродукта в баллах шкалы *ASTM D* 1500 на экран пользователя.

Предложенная автоматизированная методика характеризуется низкими аппаратными требованиями, простотой реализации и высокой скоростью анализа. Это делает ее эффективным инженерным инструментом для оперативной оценки термоокислительной стабильности нефтепродуктов непосредственно в условиях ремонтных мастерских организаций АПК без привлечения дорогостоящего лабораторного оборудования и высококвалифицированных специалистов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Венцель, С.В. Применение смазочных материалов в двигателях внутреннего сгорания / С.В. Венцель. – Москва: Химия, 1979. – 240 с.

2. Корнеева, В.К. Методы оценки экспериментальных результатов экспресс-тестирования моторных масел, основанные на использовании программного комплекса *ImageJ*. Часть 2. Цветовые модели и возможности их применения при колориметрических методах / В.К. Корнеева, В.М. Капцевич, В.В. Остриков // Агропанорама. – 2025. – № 1. – С. 29-36.

3. Standard Test Method for Color of Petroleum Products (ASTM Color Scale): ASTM D 1500-12 (2017). – ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017. – 5 p.

4. Нефтепродукты. Метод определения цвета по шкале ASTM: СТБ 1796-2007. – Введ. 23.10.2007. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2007. – 10 с.

5. Ferreira, T. ImageJ user guide /Fiji 1.46 / T. Ferreira, W. Rasband. – 2012. – 198 p.

6. IEC 61966-2-1:1999. Multimedia systems and equipment. Colour measurement and management. Part 2-1. Colour management. Default RGB colour space – sRGB – 9 p.

7. Maxwell, J.C. On the theory of compound colours and the relations of the colours of the spectrum / J.C. Maxwell // Proceedings of the Royal Society of London, Philosophical Transactions of the Royal Society (London). – 1860. – January 1. – P. 58- 84.

8. CIE. Colour-matching functions of the CIE 1931 standard colorimetric observer: Data set. – Vienna: Commission Internationale de l'Éclairage, 2019. – DOI: 10.25039/CIE.DS.xvudnb9b.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 01.06.2026

УДК 621.43:621.892
https://doi.org/10.56619/2078-7138-2026-175-3-32-39

АНАЛИЗ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ СОСТАВОВ ПО КОМПОНЕНТНОМУ НАПОЛНЕНИЮ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМ ПРОЦЕССАМ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ТРУЩИМИСЯ ПОВЕРХНОСТЯМИ И МЕХАНИЗМУ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

В.Е. Тарасенко,
зав. каф. технологий и организации технического сервиса БГАТУ, канд. техн. наук, доцент,

Ю.Н. Боженков,
инженер-исследователь ООО «Дельта Машинери»,

А.Н. Монтик,
магистрант каф. технологий и организации технического сервиса БГАТУ,

П.А. Гаврукович,
магистрант каф. технологий и организации технического сервиса БГАТУ

В статье представлены результаты анализа ремонтно-восстановительных составов (РВС) различного происхождения для использования в автотракторных двигателях. Определены триботехнические признаки и технические характеристики, разграничивающие функционально РВС и присадки к моторным маслам. Предложена классификация ремонтно-восстановительных составов по компонентному наполнению, которая включает группу эффективных комплексных трибосоставов. Рассмотрены версии работы ремонтно-восстановительных составов и определены основные факторы процессов образования защитных покрытий на деталях ДВС. Выполнены начальные этапы экспериментальной проверки эффективности минерального состава при эксплуатации двигателей Д-260.2 тракторов «Беларус-1221В.2».

Ключевые слова: ремонтно-восстановительные составы, двигатель, износ, поверхность, трение, признак, пленка.

The article presents the results of an analysis of repair and restoration compounds of various origins for use in automotive and tractor engines. Tribotechnical features and technical characteristics that functionally differentiate between RBCs and motor oil additives are determined. A classification of repair and restoration compounds by component composition is proposed, which includes a group of effective complex tribocompounds. The performance of repair and restoration compounds is examined, and the main factors in the formation of protective coatings on internal combustion engine components are identified. The initial stages of an experimental test of the effectiveness of the mineral composition in the operation of D-260.2 engines of Belarus-1221V.2 tractors have been completed.

Keywords: repair and restoration compounds, engine, wear, surface, friction, sign, film.

Введение

Анализ современного состояния технического сервиса автотракторных двигателей внутреннего сгорания (ДВС) как в Республике Беларусь, так и других странах мира свидетельствует о том [1-5], что существующие сложившиеся на предприятиях технологии технического сервиса ДВС не в полной мере отвечают современным требованиям, предъявляемым к ресурсным показателям двигателей. В настоящее время необходимым является использование новых высокоэффективных технологий достижения высоких показателей эксплуатационной надежности и ресурса. Одной из них, наиболее простой, доступной для предприятий, эксплуатирующих мобильные машины с ДВС, и в то же время выгодной с экономической точки зрения является технология «безразборного ремонта» [1, 2; 6-7]. Сущность данной технологии

заключается в том, что при введении специальных ремонтно-восстановительных составов различного происхождения в масло достигается уменьшение скорости изнашивания ресурсных деталей механизмов. При этом, что особо значимо, на рабочих поверхностях деталей происходит образование слоев с высокой износостойкостью и малым коэффициентом трения. Таким образом, с помощью данной технологии можно обеспечить безызносную эксплуатацию ДВС.

Предшественником данного эффективного направления явились твердые смазки, твердые смазочные материалы и твердосмазочные покрытия [2; 12]. Обработка узлов и агрегатов РВС приводит к образованию на поверхностях трения антифрикционного покрытия, толщина которого в процессе эксплуатации находится в пределах от долей мкм до сотни мкм (отмечаются подтвержденные факты наращивания покрытия до 0,6- 1,0 мм, а наноалмазными РВС – до 0,32 мм) [2]. С учетом того, что значительная доля неисправностей ДВС обусловлена именно небольшими износами сопряжений (0,1-0,3 мм), то достигаемое частичное их восстановление правильно выбранными РВС даже на 0,02 мм весьма целесообразно, технически и экономически оправданно. При этом с реализацией маслофильности антифрикционного покрытия значительно улучшается работоспособность обработанных агрегатов. Накопленный опыт и практика «безразборного ремонта» свидетельствуют о том, что обработка неаварийных узлов и агрегатов ДВС, особенно не имеющих предельного износа, является оправданной альтернативой текущему и капитальному их ремонту как в доремонтный, так и послеремонтный период эксплуатации. Современное материаловедение располагает эффективными методами и технологиями выполнения безремонтных способов восстановления работоспособности наиболее ответственных изношенных деталей, которые позволяют обходиться без громоздкого технологического оборудования с соответствующим штатом обслуживающего персонала. При этом результаты многих исследователей говорят о том, что доремонтный ресурс ДВС при своевременном применении РВС продлевается на 1-3 года и может достигать 5 лет, а затраты на ремонтные воздействия значительно уменьшаются.

Безразборный рассматриваемый метод ремонта повышает технические характеристики ДВС, а в ряде случаев, результаты которых соответствуют капитальному ремонту, что пояснить полностью достаточно сложно, достигаются номинальные значения. При этом отсутствует обязательная для этих видов ремонта разборка двигателя, дефектация и замена изношенных деталей.

В настоящее время потребителям для проведения «безразборного ремонта» узлов трения предлагается большой ассортимент РВС (более 200 марок), произведенных в США, Японии, Финляндии, Германии, Российской Федерации, Китае и др. (VICCO, REWITEC, ТРИГГЕР, Forsan Nanoceramic, Motor doctor и др.). Однако потребителям сложно разобраться в представленном на рынке многообразии данных составов. Информация о РВС, как правило, представлена преимущественно рекламными проспектами фирм-производителей составов различного назначения. Следует знать, что порой она некорректна, а в отдельных случаях не подтверждается практикой. Поэтому недостаток объективной информации, недоверие ко всему новому, наличие низкокачественных составов в совокупности тормозят применение данного метода увеличения ресурсных показателей ДВС.

Теоретические и экспериментальные исследования физико-химических процессов взаимодействия РВС с трущимися поверхностями**,** механизмов функционирования, процессов восстановления изношенных деталей под действием РВС освещены в работах Маринича Т.Л., Телуха Д.М., Ольховацкого А.К., Острикова В.В., Ревнивцева В.И., Зуева В.В., Сафонова В.В., Подчуфарова С.Н., Пригожина И.Р., Балабанова В.И., Крагельского Д.Н., Бабеля В.Г., Белого И.Ф., Германа А.Ю., Ладикова В.В., Лазарева С.Ю., Любимова Д.Н., Новикова В.И., Пустового И.Ф., Рыжова В.Г., Шабанова А.Ю. и других.

Целью настоящей работы является обобщение данных о существующих ремонтно-восстановительных составах, их разграничение и систематизация по компонентному наполнению, физико-химическим процессам взаимодействия с трущимися поверхностями, свойствам получаемых покрытий, а также выполнение предварительных этапов проверки эффективности использования в тракторных дизелях минерального состава.

Основная часть

Многочисленные РВС значительно отличаются по стоимости, способны создавать покрытия разной природы и размеров, с обеспечением различной долговечности. Различают составы органической и неорганической природы, которые нежелательны к применению по причине формирования малой толщины и малой стойкости создаваемых пленок на поверхностях трения, срыву и забиванию ими маслоканалов систем ДВС. Подобные РВС дают побочные негативные эффекты из-за образования ими в двигателях вредных веществ и отложений. По этой причине они ограничены к применению в Европе и США [1, 2]. Очевидным является то, что существует явная необходимость в разработке концепции использования в ДВС экологически чистых, недорогих, эффективно модифицирующих поверхности трения или интенсивно наращивающих заметные покрытия в короткий период работы, сопряжений РВС различного происхождения для увеличения ресурсных показателей ДВС, увеличения эксплуатационной надежности при безызносной эксплуатации.

В рамках выполнения НИР «Исследование триботехнических параметров ремонтно-восстановительных составов и закономерностей изнашивания деталей двигателей внутреннего сгорания» (научный проект БРФФИ–МФНТ) выполнен анализ РВС по компонентному наполнению, физико-химическим процессам их взаимодействия с трущимися поверхностями и механизму функционирования.

РВС, являясь, как правило, инертными веществами, практически не взаимодействуют с маслами и смазками, вследствие чего почти не изменяют их свойства. Масла или другие технические жидкости являются для составов лишь средством их доставки к месту фрикционного контакта [8]. Наиболее характерное отличие РВС от присадок заключается в том, что последние работают со смазочными маслами, улучшая их рабочие свойства, а РВС взаимодействуют непосредственно с поверхностями деталей, модифицируя их или покрывая защитной пленкой. Так, минеральные и трибополимеробразующие составы проявляют свое действие только в процессе трения сопряжений, при соответствующих нагрузках и температуре, в течение определенного времени. Присадки же, для сравнения, улучшают свойства масел сразу непосредственно в процессе их производства.

В результате проведенного анализа установлены триботехнические признаки и технические характеристики РВС и присадок к моторным маслам (блок-схема представлена на рисунке 1), разграничивающие функционально РВС и присадки к моторным маслам. По ряду из них, таких как наращивание восстановительного слоя и оптимизация зазоров в сопряжениях, выравнивание микрорельефа поверхностей трения, особо значимых при обеспечении ресурсных показателей автотракторных двигателей, при введении значительно меньшей концентрации (0,01-0,4%) отмечается работа только РВС. Присадки к моторным маслам подобные функции выполнять не могут. При этом в разрезе обеспечения рабочих свойств смазочных масел выделяются присадки к моторным маслам, которые способны поддерживать гораздо больший перечень функциональных возможностей масла (антиокислительные, антикоррозионные, противопенные и др.). РВС (в сравнении), работая при гораздо больших температурах в зоне контакта деталей (до 1200°С) и поддерживая необходимый перечень свойств длительный период времени (до трех-пяти сроков смены масла), гарантированно способны обеспечивать лишь параметры маслянистости – антифрикционные, противоизносные и противозадирные. Сильными составляющими РВС также являются: обеспечение защиты сопряжений трения при потере смазочной среды как таковой и работа в целом без масла, обеспечение коррозионной стойкости металла при значительной длительности действия.

Исследованиями в данной области установлены определенные технологические режимы применения РВС с целью максимально возможного восстановления изношенных поверхностей трения. Так, в диссертации Попова С.Ю. [17] для изменения параметров (интенсификации) процесса восстановления рабочих, наиболее ответственных поверхностей трения установлена необходимость реализации кавитационных процессов при дросселировании смеси масла с РВС и разбавление самих РВС. В работе [23] автор после ряда опытов с составом «RVS-technology» на установке, позволяющей имитировать режим трения, близкий к режиму трения поршневое кольцо – цилиндр и получения данных о скорости изнашивания образцов, делает вывод о предпочтительности и перспективности использования металлокерамических РВС. В работе [23] также говорится о целесообразности и эффективности применения РВС для двигателей, имеющих определенную наработку и заметные признаки износа рабочих поверхностей, при обкатке ДВС при их ремонте с целью качественной приработки составляющих деталей ЦПГ.

Ломухиным В.Б. [24] внесены значимые результаты в область исследования РВС, предложены теоретические подходы при выборе РВС в зависимости от текущего технического состояния ДВС и дополнительные диагностические параметры, установлены особенности механизма действия, весомые преимущества и недостатки различных составов.

Из анализа множественных источников информации [1-23] можно заключить, что при условии рационального и своевременного применения РВС достигается снижение трения и скорости изнашивания наиболее ответственных рабочих поверхностей автотракторных двигателей, удается устранить последствия эксплуатационного износа поверхностей трения, который в свою очередь вносит индивидуальные отличия в работу каждого узла трения двигателя.

В рамках выполнения настоящих исследований выполнена классификация и систематизация РВС по компонентному наполнению, физико-химическим процессам их взаимодействия с трущимися поверхностями, свойствам получаемых покрытий. На рисунке 2 представлена блок-схема, согласно которой все эффективные РВС в зависимости от наполнения, физико-химических трибопроцессов и свойств образуемых покрытий соотнесены к восьми основным группам. Актуализация классификации РВС позволила выявить наличие новой группы комплексных трибосоставов, к которой относятся составы с высокодисперсной керамикой, трибопродукты на основе серпентинов и органических добавок, а также многокомпонентные составы.

Среди комплексных составов следует выделить достаточно эффективный трибосостав на основе серпентинов и органических добавок – антифрикционную ресурсо-восстанавливающую композицию (АРВК) с трибополимеробразующим составом ЭФ-357, где изначально срабатывает органическая компонента и обеспечивает образование защитной полимолекулярной пленки, а позднее – серпентиновая и образуется (предварительно) органоминеральное покрытие. Значимые факты подтверждения эффективности композиции АРВК в работе установлены государственными испытаниями, в том числе машиноиспытательными станциями.

В результате триботехнических сравнительных испытаний целого ряда геомодификаторов, реметаллизантов и комплексного состава установлена высокая эффективность именно металлоорганического состава «Renom Engine» [16]. Использование данного состава обеспечивает максимально высокие антиизносные свойства по сравнению с другими рассматриваемыми составами и позволяет снизить износ рабо-

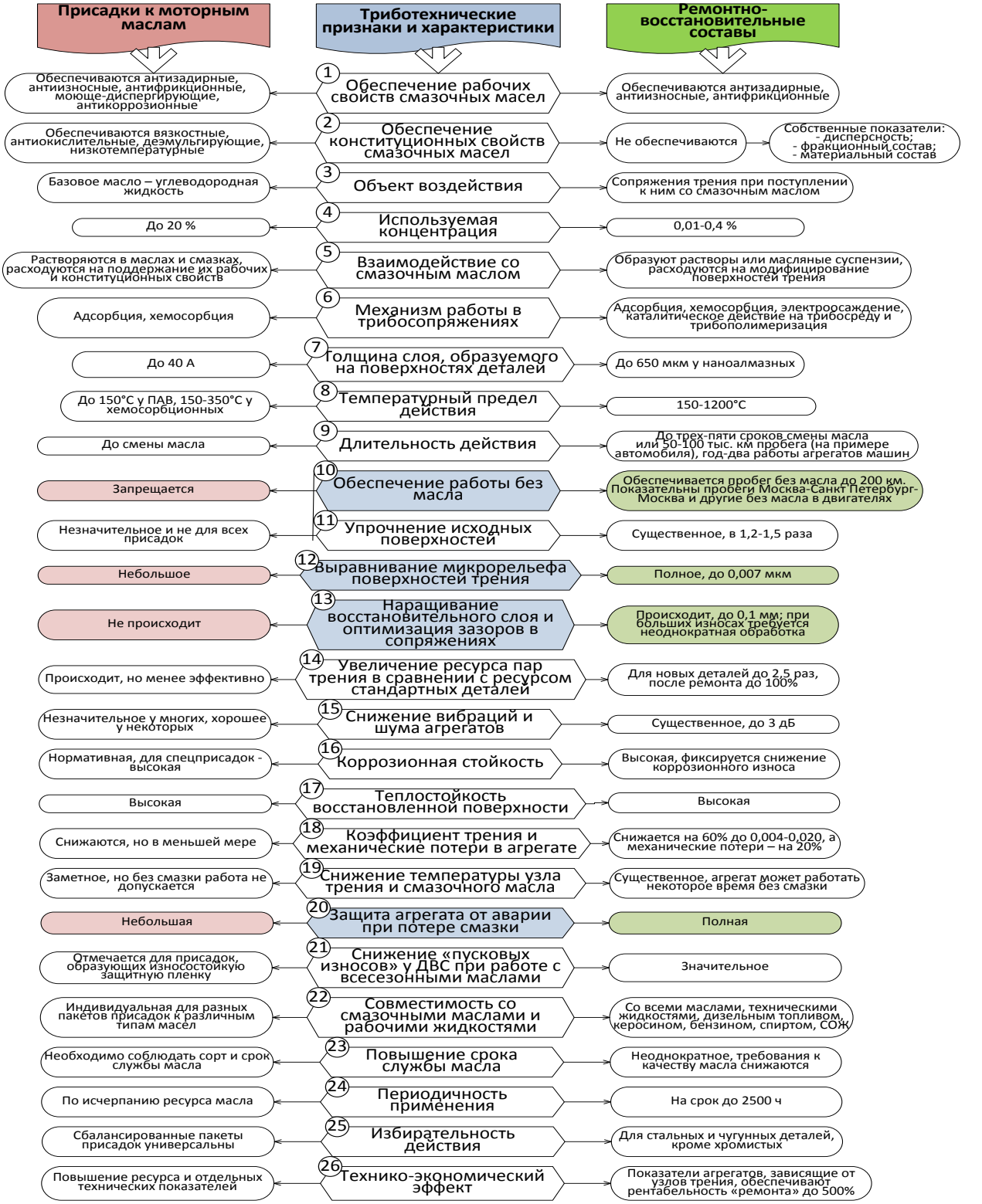


Рисунок 1. Триботехнические признаки и технические характеристики ремонтно-восстановительных составов и присадок к моторным маслам

чих поверхностей двигателя по сравнению с базовым маслом более чем в 8 раз.

Анализ физико-химических процессов взаимодействия РВС с трущимися поверхностями, свойств получаемых покрытий и механизмов функционирования позволил установить, что основными факторами являются: давление и температура в локальной точке трибоконтакта, размол частиц с их абразивным

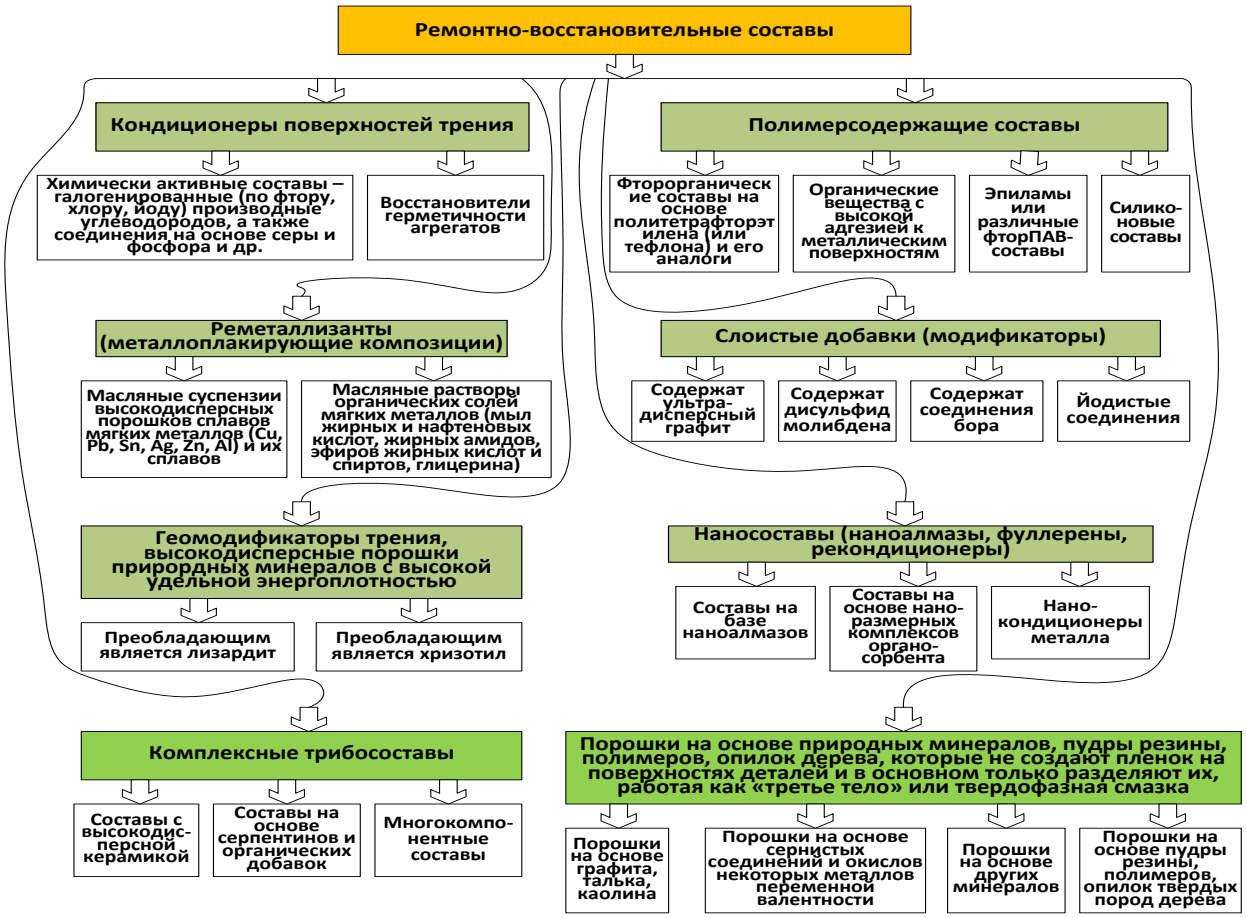


Рисунок 2. Блок-схема классификации РВС в зависимости от наполнения, физико-химических трибопроцессов и свойств образуемых покрытий

действием на микронеровности и окисные пленки, наличие в трибосреде продуктов окисления органической смазки, диффузия в поверхностях трения одних компонентов, хемосорбция других, поли- и трибоконденсация с адгезией на поверхностях трения третьих компонентов фрикционной среды. Можно выделить следующие версии работы РВС:

Физическая адгезия (силы Ван-дер-Ваальса) соотносятся составы на основе политетрафторэтилена, графита, дисульфида молибдена;

Хемосорбция. Составы MICRO-X3, соли фторсульфокислот, галогенированные масла (Феном, SMT, SMT-2, ER и др.);

Трибополимеризация: АРВК (Э-357), АРВО, минеральные масла + радикалы;

Электрохимическое осаждение: относятся суспензии порошков и соли жирных кислот мягких металлов;

Катализ с участием трибоплазмы: серпентины, гидросиликаты щелочных металлов;

Диффузия и ионообменные реакции: Наноалмазные трибосоставы КАРАТ-М, КАРАТ-5;

Без взаимодействия (инертное третье тело).

Процессы взаимодействия поверхностей трения двигателя и трибосреды в совокупности включают в себя разнообразие механического контактирования, электрических и химических явлений, сложных диффузионных и термических процессов. Наличие РВС в зоне контакта меняет набор и порядок проявления перечисленных выше процессов, изменяющихся при изменении нагрузочно-скоростных и температурных режимов трения, физико-механических и других триботехнических характеристик среды, порой неизвестных и меняющихся в процессе трения.

Следует отметить, что в разрезе минеральных трибосоставов и реметаллизантов отмечается критическая концентрация соединений и временные ограничения на проведение первичной обработки [8]. Так, превышение концентрации соединений, обладающих восстановительной способностью, из-за быстрого восстановления оксидных пленок в зоне трения приводит к намазыванию. Из работ А.Ю. Шабанова [6], С.Н. Подчуфарова [8] следует, что новообразованному и непрочному РВС-слою необходимо время для упрочнения водородом из смазки и водородом из металла детали для схватывания пленки с поверхностью трения. Для этого, после непродолжительной обработки двигателя, его следует остановить на сутки в холодное время и на двое суток в теплое время.

Выполненный в рамках данной работы анализ позволяет также сделать заключение о том, что наряду с высокой эффективностью использования РВС в

автотракторных двигателях, остается множество нерешенных вопросов в их применении. Так, перед использованием РВС обязательно необходимо выполнить этапы квалифицированного инструментального технического диагностирования ДВС с оценкой состояния ЦПГ и моторного масла, результаты которого должны указывать на достаточно высокую степень износа (не менее 50 %) рабочих поверхностей деталей. В случаях, когда качество моторного масла не соответствует эксплуатационным требованиям, а также при фиксации отказов деталей узлов и механизмов двигателя, подлежащих обработке, процедуру восстановительной обработки РВС проводить не следует.

Осуществлены предварительные этапы эксплуатационной проверки эффективности использования РВС на минеральной основе. Применение состава БелГео при испытаниях на тракторах «Беларус-1221В.2» с наработкой в обоих случаях свыше 7500 ч, эксплуатируемых в сервисном центре ОАО «МТЗ» и ОАО «Любанский райагросервис» [25], оказало положительное влияние на ряд параметров работы двигателей (табл. 1). При первом же контрольном измерении (при достижении наработки 100 ч) зафиксировано повышение компрессии в цилиндрах двигателей рассматриваемых тракторов (рис. 3, 4), уменьшение шумности работы двигателей и повышение приемистости (по утверждению закрепленных механизаторов). При этом на двигателе Д-260.2 (№139795) трактора из ОАО «Любанский райагросервис» резко уменьшился расход масла на угар.

Дополнительно проводилось измерение расхода (прорыва) газов из картера и дымности отработавших газов. Однако на начальном этапе работы РВС существенных результатов данный контроль не показал. Эти операции следует выполнить после достижения наработки двигателями рассматриваемых тракторов не ранее чем через 250 ч работы. По результатам измерений параметров работы двигателей составлены соответствующие акты.

Улучшение работы двигателей по перечисленным выше параметрам следует увязать со свершившейся качественной приработкой в первые часы работы после ввода РВС в двигатели и активным протеканием процесса очистки деталей от нагара, оксидов

Таблица 1. Изменение компрессии в двигателях тракторов «Беларус»

Этапы проверки/модель трактора	Компрессия в цилиндрах, кгс/см^2					
	1	2	3	4	5	6
Трактор «Беларус-1221В.2» №12042546 с дизелем Д-260.2 (серийный идентификационный №140597) на базе сервисного центра ОАО «МТЗ»						
Исходная	29	28	28,5	20	28	30
После обработки	31,5	32,5	32,5	27,9	31	32
Трактор «Беларус-1221В.2» №12042261 с дизелем Д-260.2 (серийный идентификационный №139795) на базе ОАО «Любанский райагросервис»						
Исходная	29,5	29	29,5	29	29,5	30,5
После обработки	31,5	32,5	32,5	31,5	31,5	32,5

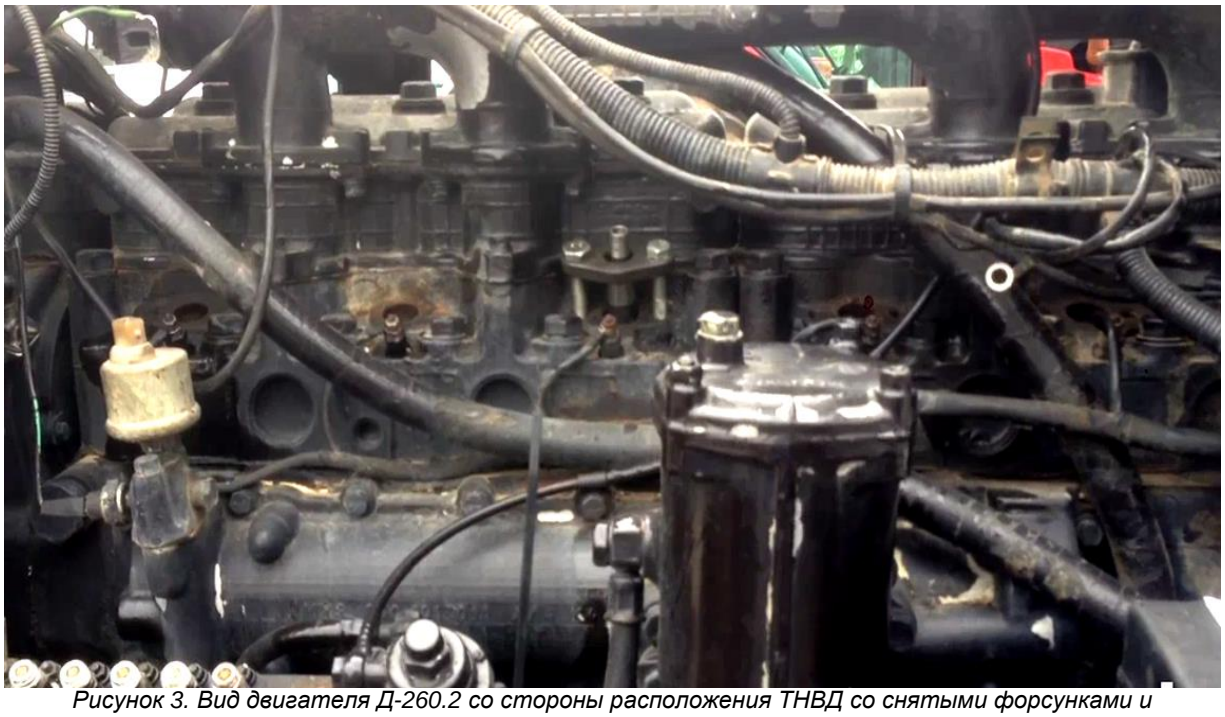


Рисунок 3. Вид двигателя Д-260.2 со стороны расположения ТНВД со снятыми форсунками и трубками высокого давления



Рисунок 4. Измерение компрессии в цилиндрах дизеля Д-260.2 с помощью электронного индикатора (компрессометра) W800/500

и отложений. В результате очистки деталей прежде всего улучшилось уплотнение подвижного соединения поршень – цилиндр, так как образовались условия беспрепятственного перемещения колец в канавках поршней, а также в связи с этим произошло повышение компрессии, что положительно повлияло на другие показатели работы двигателей.

Заключение

Многочисленные и длительные испытания различной формы на самых разнообразных ДВС и многих других узлах и агрегатах, проведенные в Финляндии, Японии, Китае, Российской Федерации, Украине, Республике Беларусь и в других странах Европы, Азии, Африки, США убедительно показали, что РВС в целом способствуют заметному улучшению показателей ДВС по мощности, расходу топлива и масла с обеспечением заданного эксплуатационного ресурса.

В результате анализа компонентного наполнения ремонтно-восстановительных составов, физико-химических процессов их взаимодействия с трущимися поверхностями, а также механизма функционирования установлены триботехнические признаки и технические характеристики, разграничивающие функционально РВС и присадки к моторным маслам. Предложена классификация РВС по компонентному наполнению, включающая группу перспективных комплексных трибосоставов. Рассмотрены версии работы трибосоставов и определены основные факторы процессов образования защитных покрытий на деталях ДВС.

Выполнены этапы эксплуатационной проверки эффективности использования состава на минеральной основе, которые подтвердили улучшение технических характеристик двигателей применением технологии безразборного ремонта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Миклуш, В.П. Управление надежностью сельскохозяйственной техники методами диагностики и триботехники / В.П. Миклуш, А.В. Дунаев, В.Е. Тарасенко [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2019. – 392 с.

2. Дунаев, А.В. Нетрадиционная триботехника для повышения ресурса автотракторной техники. Итоги 25-летнего развития / А.В. Дунаев, Е.М. Филиппова; под ред. С.Н. Шарифуллина. – М.: ФНАЦ ВИМ, 2017. – 252 с.

3. Mihov, M. Optimization of the frequency of the technical service of machines with reliance of reliability / M. Mihov. – Mechanization in agriculture & Conserving of the resources. – 2018, vol. 64. – P. 200-202.

4. Krishnan, A. SIMULATION OF AN ENGINE FRICTION STRIP TEST. Master's Thesis in Automotive Engineering / Department of Applied Mechanics Division of Combustion CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. – Göteborg, Sweden, 2014. – 73 p.

5. Y., Hu. A two-stage dynamic capacity planning approach for agricultural machinery maintenance service with demand uncertainty / Hu Y., Liu Y., Wang Z. [et al.] // Biosys. Eng. – 2020. – P. 201-217.

6. Шабанов, А.Ю. Очерки современной автохимии. Мифы или реальность? А.Ю. Шабанов. – СПб.: Иван Федоров, 2004. – 216 с.

7. Балабанов, В.И. Безразборный сервис автомобиля (обкатка, профилактика, очистка, тюнинг, восстановление) / В.И. Балабанов, В.И. Беклемышев, А.Г. Гамидов [и др.]. – М: Известия, 2007. – 272 с.

8. Дунаев, А.В. Эффективность применения минеральных модификаторов при техническом сервисе в АПК: научное издание / А.В. Дунаев, В.В. Ладиков, И.Ф. Пустовой [и др.]. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. – 164 с.

9. Yuansheng, J. and Shenghua, L. Superlubricity of in situ generated protective layer on worn metal surfaces in presence of Mg6Si4O10(OH)8 / Superlubricity. Edited by Ali Erdemir Argonne National Laboratory. – Argonne, USA and Jean-Michel Martin Ecole Centrale de Lyon/. – Lyon, France: Elsevier B.V. – 2007. – P. 445-469.

10. M. Hatami, M. Hasanpour and D. Jing. Recent developments of nanoparticles additives to the consumables liquids in internal combustion engines: Part II: Nanolubricants // Journal of Molecular Liquids. – 2020, vol. 319, Dec 01. – P. 114-156.

11. N.A. Ismail, N.W.M. Zulkifli, Z.Z. Chowdhury and M.R. Johan. Functionalization of graphene-based materials: Effective approach for enhancement of tribological performance as lubricant additives // Diamond and Related Materials. – 2021, vol. 115, May. – P. 108-357.

12. S. Mazumder, H.S.C. Metselaar, N.L. Sukiman and N.W.M. Zulkifli. An overview of fluoride-based sol-

id lubricants in sliding contacts // Journal of the European Ceramic Society. – 2020, vol. 40. – P. 4974-4996.

13. K. Fukuzawa, Y. Sasao, K. Namba, C. Yamashita, S. Itoh and H. Zhang. Measurement of nanometer-thick lubricating films using ellipsometric microscopy // Tribology International. – 2018, vol. 122 (Jun.). – P. 8-14.

14. A. Chouhan, T.K. Sarkar, S. Kumari, K.L.N. Sivakumar, H. Sugimura and O.P. Khatri. Mechano-adaptive thin film of graphene-based polymeric nanocomposite for enhancement of lubrication properties|// Applied Surface Science. – 2021, vol. 538.

15. N. Thachnatharen, M. Khalid, A. Arulraj and N. Sridewi. Tribological performance of hexagonal boron nitride (hBN) as nano-additives in military grade diesel engine oil // Materials Today: Proceedings. – 2021.

16. Балабанов, В.И. Исследование ремонтно-восстановительных составов для автотракторной техники / В.И. Балабанов, Ю.В. Бойков, Т.В. Балабанова // Вестник ФГОУВПО «МГАУ им. В.П. Горячкина». – Москва, 2016. – № 3. – С. 45-52.

17. Попов, С.Ю. Повышение эксплуатационных свойств ремонтно-восстановительных составов при их использовании в двигателях тракторов: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.20.03 / Попов С.Ю.; ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве». – Мичуринск-наукоград, 2014. – 22 с.

18. Татаринцев, В.В. Трибохимическое снижение водородного изнашивания контактирующих поверхностей узлов и деталей машин при их относительном перемещении. Резюме проекта / В.В. Татаринцев. – Сколково, 2022. – 48 с.

19. Миклуш, В.П. Обоснование применения минеральных трибосоставов для проведения безразборного ремонта / В.П. Миклуш, В.Е. Тарасенко, А.В. Дунаев // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – Харків, 2017. – № 7. – С. 43-51.

20. НП ЗАО «СИНТА». Производство наноалмазов, наноуглеродных и наноалмазных добавок. – URL: https://sinta.biz (дата обращения: 16.05.2026).

21. Соловьев, Р.Ю. Экспресс-метод выбора рационального триботехнического состава для безызносной эксплуатации двигателей внутреннего сгорания. Технологические рекомендации / Р.Ю. Соловьев, Д.А. Гительман, А.К. Ольховацкий. – М.: ФГБНУ ГОСНИТИ, 2015 – 50 с.

22. Гительман, Д.А. Безызносная эксплуатация двигателей внутреннего сгорания. Технологические рекомендации / Д.А. Гительман, А.К. Ольховацкий. – Челябинск, 2015 – 52 с.

23. Корнилович, С.А. Результаты исследования возможности применения ремонтно-восстановительных составов при эксплуатации автотракторных двигателей / С.А. Корнилович // Вестник СибАДИ. – 2014. – № 6 (40). – С. 20-26.

24. Ломухин, В.Б. Трибологические основы безразборного ремонта элементов судовых энергетических установок: автореф. дис. … докт. техн. наук: 05.08.05 /Ломухин Владимир Борисович; ФГОУ «Новосибирский государственный аграрный университет». – Новосибирск, 2010. – 38 с.

25. Лазарев, С.Ю. Значение геомодификаторов поверхностей трения при эксплуатации и ремонте автотракторных двигателей / С.Ю. Лазарев, В.Е. Тарасенко, А.В. Дунаев, А.А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2024. – Вып. 57. – С. 210-218.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 17.06.2026

Радиоволновой влагомер зерна

Предназначен для непрерывного измерения влажности зерна в процессе сушки на зерносушильных комплексах.

Влагомер обеспечивает непрерывный контроль влажности зерна в потоке и автоматическую коррекцию результатов измерения при изменении температуры материала, имеет аналоговый выход – 4-20 мА, а также интерфейс – RS-485.



Основные технические данные

Диапазон измерения влажности зерна	от 9 до 25 %
Основная абсолютная погрешность	не более 0,5 %
Температура контролируемого материала	от +5 до +65 °С
Цена деления младшего разряда блока индикации	0,1 %
Напряжение питания	220 В 50 Гц
Потребляемая мощность	30 ВА

УДК 338.45
https://doi.org/10.56619/2078-7138-2026-175-3-40-44

СОВРЕМЕННЫЕ МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МАСЛОЖИРОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

А.А. Гончарова,
аспирант каф. государственной экономической политики Академии управления при Президенте Республики Беларусь, магистр экон. наук

В статье проведен комплексный анализ динамики производства, потребления, экспорта и импорта растительных масел по видам продукции и странам. Установлено, что развитие масложировой промышленности в мире демонстрирует устойчивый рост, основанный на экологичности организации и управления производством, возрастающем спросе на растительные и альтернативные продукты, расширении ассортиментной линейки персонализированного питания, развитии инновационных технологий и автоматизации бизнес-процессов, изменении форматов потребления продукции.

Ключевые слова: масложировая промышленность, растительные масла, производство, потребление, экспорт, импорт, эффективность.

This article provides a comprehensive analysis of the dynamics of production, consumption, export, and import of vegetable oils by product type and country. It is established that the global oil and fat industry is demonstrating sustainable growth based on environmentally friendly production organization and management, increasing demand for plant-based and alternative products, expanding the range of personalized nutrition products, the development of innovative technologies and business process automation, and changing consumption patterns.

Keywords: oil and fat industry, vegetable oils, production, consumption, export, import, efficiency.

Введение

Масложировая промышленность Республики Беларусь является экспортоориентированной и занимает определяющее место на мировом рынке, емкость которого оценивается по прогнозу 2025-2026 гг. в 228,9 млн т, в том числе пальмового масла – 77,61 млн т, соевого – 70,49, рапсового – 35,31, подсолнечного – 19,18 млн т. Ее развитие основывается не только на внутренних возможностях, особенностях функционирования национального рынка, но и мировых тенденциях, являющихся определяющими в обеспечении конкурентных преимуществ отечественных субъектов на внешних рынках.

В настоящее время масложировая промышленность представлена субъектами маслодобывающей и маслоперерабатывающей подотраслями. Работа маслодобывающих организаций основывается преимущественно на отечественных маслосеменах рапса, в меньшем объеме – подсолнечника и сои. Сюда входят ОАО «Бобруйский завод растительных масел», ОАО «Витебский маслоэкстракционный завод», ОАО «Гомельский жировой комбинат», ОАО «Минский маргариновый завод». Переработка масличных культур осуществляется на ОАО «Бобруйский завод растительных масел», ОАО «Гомельский жировой комбинат», ОАО «Витебский маслоэкстракционный завод». Кроме того, последний является одной из крупнейших государственных узкоспециализированных организаций в республике по переработке семян масличных культур и производству нерафинированного растительного масла.

Как показывают исследования, теоретические и методические основы эффективного функционирования масложировой промышленности представлены в научных трудах В. Г. Гусакова, З.М. Ильиной, А.В. Пилипука, Н.Е. Свирейко, С.П. Воробьева, Дж. Парселль [1-6]; в контексте мировых производственных и сбытовых процессов – Н.В. Киреенко, С.М. Рыжкова, В.М. Кручинина, Ф.Д. Ганстоун, Р.Д. О'Брайен [7-10] и др.

Вместе с тем, современные рыночные условия диктуют новые требования к системе производства и сбыта аграрной продукции, в том числе и масложировой промышленности. Это в совокупности и определяет цель данной статьи – выявление современных тенденций развития масложировой промышленности в мире с учетом актуальных направлений в производственно-сбытовой системе.

Материалы и методы

Научное исследование базируется на изучении и анализе статистических данных USDA (Министерство сельского хозяйства США). Использованы методы системного и сравнительного анализа, метод экспертных оценок.

Основная часть

Масложировая промышленность занимается переработкой растительного масличного сырья и дальнейшей переработкой полученного растительного масла в широкий спектр продукции как пищевого, так и непищевого назначения (бытовая химия, средства гигиены и косметики, др.). Основными видами растительных масел выступают пальмовое, соевое, рапсовое и подсолнечное масла (табл. 1).

В период с 2019-2020 по 2025-2026 маркетинговые годы мировое производство растительных масел демонстрирует достаточно устойчивый рост. Если в 2019-2020 гг. мировое производство растительных масел составило 207,2 млн т, то в 2025-2026 гг. данный показатель достиг 235,86 млн т, что выше на 13,83 % к уровню 2019-2020 гг. Основной вклад обеспечило пальмовое (34,2 %), соевое (30,3 %) и рапсовое масло (15,1 %). В то же время, если рассматривать основные страны-производители растительного масла, то структура в 2025-2026 гг. выглядит следующим образом: Индонезия (53,11 млн т), Китай (30,3 млн т), Малайзия (22,56 млн т), на страны Европейского союза (ЕС) приходится 18,41 млн т, на остальные государства – 71,61 млн т (рис. 1).

С 2019-20 по 2025-2026 маркетинговые годы потребление растительных масел демонстрирует достаточно устойчивый, но неравномерный рост. Необходимо отметить, что основную долю формируют пальмовое и соевое масла – 77,61 млн т и 70,49 млн т соответственно (табл. 2).

По прогнозам 2025-2026 маркетингового года объем внутреннего потребления достигнет 228,98 млн т, что выше на 13,77 % по сравнению с 2019/20 гг. Таким образом, объем производства выше объема потребления, что не превышает возможности мирового аграрного рынка.

В страновом разрезе наблюдаются различия в объемах и динамике потребления растительных масел (табл. 3).

Китай остается устойчивым мировым лидером по потреблению растительных масел. Индонезия де-

Таблица 1. Динамика мирового производства растительных масел, 2019-2026 гг., млн т

Наименование продукции	Маркетинговый год							Темп роста 2025/26 к 2019/26, %
	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23	2023/24	2024/25	2025/26	
Пальмовое	73,2	75,4	73,3	76,7	76,1	78,4	80,7	110,25
Соевое	58,5	60,1	60	60,6	63,9	70,1	71,4	122,05
Рапсовое	27,9	27,6	29,2	32,8	33,2	34,2	35,7	127,96
Подсолнечное	21,5	19,3	19,6	21,6	22	20,4	20,7	96,28
Другие виды	26,1	24,1	26,27	26,4	26,9	26,7	27,4	104,98
Всего	207,2	206,5	208,37	218,12	222,19	229,99	235,86	113,83
Примечание. Составлена на основе источника [11].								

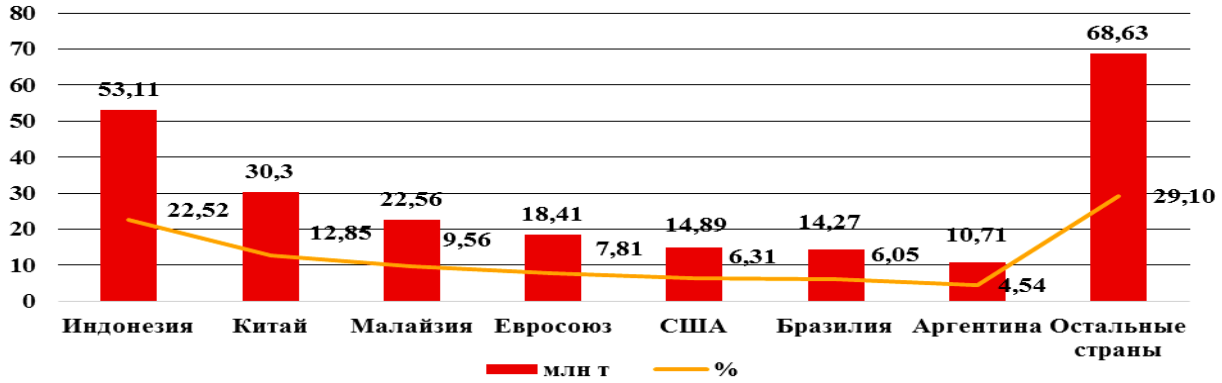


Рисунок 1. Мировое производство растительных масел по странам и их структура, 2025-2026 маркетинговые годы
Примечание. Составлен на основе источника [11].

Таблица 2. Мировое потребление основных видов растительных масел, млн т

Наименование продукции	Маркетинговый год							Темп роста 2025/26 к 2019/20, %
	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23	2023/24	2024/25	2025/26	
Пальмовое	70,84	72,56	69,26	73,35	74,55	75,42	77,61	109,5
Соевое	57,09	58,49	59,84	59,53	62,98	68,35	70,49	123,5
Рапсовое	28,39	28,68	30,16	32,71	34,35	34,37	35,31	124,4
Подсолнечное	18,91	18,23	17,52	19,55	21,07	19,11	19,18	101,4
Другие виды	26,02	26,33	25,51	31,37	32,16	25,92	26,39	101,4
Всего	201,25	204,29	202,29	210,42	218,03	223,17	228,98	113,77
Примечание. Составлена на основе источника [11].								

Таблица 3. Мировое потребление растительных масел по странам, млн т

Страна	Маркетинговый год							Темп роста 2025/26 к 2019/20, %
	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23	2023/24	2024/25	2025/26	
Китай	39,22	40,16	36,87	39,46	40,44	40,43	40,94	104,39
Индонезия	18,12	19,51	21,43	23,23	24,9	26,52	27,24	150,33
Индия	22,17	22,53	22,82	23,86	24,75	25,39	26,03	117,41
Евросоюз	25,6	25,58	24,63	24,49	24,39	23,74	23,85	93,16
США	15,99	16,52	17,28	19,27	20,13	19,05	20,4	127,58
Бразилия	9,63	9,97	9,58	10,16	12,31	12,67	13,31	138,21
Малайзия	5,03	4,72	4,65	5,4	5,26	5,59	5,64	112,13
Пакистан	4,88	4,8	4,19	4,29	4,35	4,75	4,08	83,61
Россия	3,54	3,63	3,6	3,7	3,8	3,95	3,45	97,46
Мексика	2,88	2,94	3,06	3,17	3,13	3,18	3,26	113,19
Тайланд	3,16	3,13	2,97	2,98	2,97	2,68	2,91	92,09
Канада	1	1	1,53	1,73	2,19	2,34	2,81	281,00
Остальные страны	50,03	49,8	49,68	48,68	49,41	52,88	55,06	110,05
Мировой итог	201,25	204,29	202,29	210,42	218,03	223,17	228,98	113,78
Примечание. Составлена на основе источника [11].								

монстрирует значительный рост (150,33 %) и США (127,58 %) соответственно. Следует отметить, что мировой экспорт растительных масел в 2025/26 гг. прогнозируется на уровне 87,77 млн т, что по сравнению с 2019/20 гг. выше на 1,28 % (табл. 4).

Основными экспортерами являются страны Азии – Индонезия и Малайзия, на долю которых в 2025/26 приходится 29,28 % и 20,16 % соответственно. В то же время наблюдается снижение поставок из Индонезии на 12,41 %, Малайзии – на 5,14 %, России – на 12,48 %. Это обусловлено рядом причин (в Индонезии – проводимой внутренней политикой; в Малайзии – внешними рыночными факторами; в России – сочетанием макроэкономических и агроклиматических условий). Важно отметить, что Индонезия в 2026 г. осуществляет реализацию программы по производству биодизельного топлива на основе пальмового масла B50, которая предполагает перераспределение сырья внутри страны [12]. Что касается Малайзии, то в стране наблюдается сокращение экспорта за счет сезонного снижения урожайности, нехватки рабочей силы на плантациях, а также жесткие меры со стороны стран ЕС. Основными проблемами падения экспорта растительных масел в России являются – снижение урожайности, уменьшение масличности, неустойчивый курс национальной валюты.

В период с 2019/20 по 2025/26 маркетинговые годы мировой рынок импорта растительных масел претерпел значительные изменения (табл. 5).

Так, в 2025/26 гг. по сравнению с 2019/20 гг. объемы импорта увеличились в Индии (20,47 %), США (28,37%), Пакистане (10,17 %), Бангладеш (8,6%), Турции (27,87%). Наряду с вышесказанным, за анализируемый период демонстрируется положительное внешнеторговое сальдо (табл. 6), что говорит о самообеспеченности исследуемых мировых стран и их значительной роли на мировом рынке.

В контексте проведенного анализа основными мировыми тенденциями в развитии пищевой промышленности в целом и масложировой, в частности, можно выделить следующие:

1. *Ориентация на устойчивое производство и экологичность*. *И*сследования показывают, что мировые компании переходят на возобновляемые источники энергии, оптимизируют логистику и используют экологичную упаковку (биоразлагаемые материалы, переработанный пластик). При этом ведущими странами мира проводится борьба с пищевыми отходами на основе внедрения технологий точного прогнозирования спроса, переработки отходов в биотопливо или удобрения. Особое внимание уделяется «зеленой» сертификации, что приводит к росту спроса на про-

Таблица 4. Динамика мирового экспорта основных видов растительных масел, 2019-2026 гг., млн т

Страна	Маркетинговый год							Темп роста 2025/26 к 2019/20, %
	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23	2023/24	2024/25	2025/26	
Индонезия	29,34	29,45	24,27	30,25	24,46	25,49	25,7	87,59
Малайзия	18,66	17,32	16,82	16,64	17,82	16,98	17,7	94,86
Аргентина	6,14	7,05	5,85	5,33	6,8	8,86	8,07	131,43
Россия	7,21	4,56	4,79	6,07	6,45	6,31	6,31	87,52
Украина	5,14	5,61	4,87	5,99	7,04	5,48	5,33	103,70
Канада	3,58	3,58	2,74	3,17	3,6	3,49	3,66	102,23
ЕС	2,68	3,57	3,26	3,67	3,27	2,97	3,09	115,30
Остальные страны	13,9	14,65	17,11	17,63	16,79	18,87	17,91	128,85
Мировой итог	86,66	85,79	79,7	88,75	86,22	88,45	87,77	101,28
Примечание. Составлена на основе источника [11].								

Таблица 5. Динамика мирового импорта основных видов растительных масел, 2019-2026 гг., млн т

Страна	Маркетинговый год							Темп роста 2025/26 к 2019/20, %
	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23	2023/24	2024/25	2025/26	
Индия	13,73	13,81	14,31	17,12	15,85	16,29	16,54	120,47
Китай	12,62	13,25	7,13	11,38	9,14	7,51	8,38	66,40
Европейский союз	12,04	9,95	9,95	9,17	9,62	8,01	8,57	71,18
США	4,90	4,95	5,26	6,27	6,87	5,92	6,29	128,37
Пакистан	3,54	3,59	2,93	3,34	3,09	3,74	3,90	110,17
Бангладеш	2,21	1,96	2,03	2,32	2,33	2,48	2,40	108,60
Турция	1,83	1,71	2,42	2,75	2,41	2,12	2,34	127,87
Остальные страны	31,86	32,03	30,28	30,63	31,04	34,59	33,19	104,17
Мировой итог	82,73	81,25	74,31	82,98	80,35	80,66	81,61	98,65
Примечание. Составлена на основе источника [11].								

Таблица 6. Показатели внешней торговли растительных масел, 2019-2026 гг., млн т

Страна	Маркетинговый год							Темп роста 2025/26 к 2019/20, %
	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23	2023/24	2024/25	2025/26	
Экспорт	86,66	85,79	79,7	88,75	86,22	88,45	87,77	101,28
Импорт	82,73	81,25	74,31	82,98	80,35	80,66	81,61	98,65
Сальдо	+3,93	+4,54	+5,39	+5,77	+5,87	+7,79	+6,16	+2,23
Примечание. Составлена на основе источника [11].								

дукты с маркировкой organic, fair trade, carbon-neutral.

2. *Возрастающий спрос на растительные и альтернативные продукты*. В данном контексте отмечается спрос на растительное мясо и молоко. Компании (Beyond Meat, Impossible Foods, Oatly) развивают альтернативы на основе сои, гороха, грибов и водорослей. В Азии и Европе появляются продукты из сверчков и личинок (протеиновые батончики, мука). Достижения в области 3D-печати и молекулярной биологии нередко ускоряют разработку новых решений. Например, голландская компания The Protein Brewery создала белок на основе грибов, богатый незаменимыми аминокислотами, предлагающий вкусную, похожую на мясо альтернативу.

3. *Расширение продуктов персонализированного питания*. Наиболее востребованными являются: электронные сервисы, предлагающие рацион на основе анализов ДНК и микробиома; приложения для подбора индивидуального меню и контроля нутриентов.

4. *Развитие инновационных технологий и автоматизации*. Примером выступает использование искусственного интеллекта для прогнозирования урожая, управления цепочками поставок и создания новых рецептов. Роботизация ферм, дроны для опрыскивания полей, роботы-повара в ресторанах, 3D-печать продуктов питания определяют новый вектор пищевой и масложировой промышленности. Широко используется блокчейн, который позволяет оценить эффективность цепочек поставки продукции с элементами определения ее происхождения.

5. *Изменение форматов потребления продукции*. Установлено, что со стороны потребителей растет спрос на ассортимент рынка meal kits (наборы для готовки) и готовые полезные блюда, виртуальные бренды (организации общественного питания, которые готовят и доставляют еду исключительно через платформы онлайн-заказов, без физического заведения, где клиенты могли бы пообедать). Высокий уровень эффективности отмечается в ресторанах и кафе, внедряющих цифровые элементы в систему обслуживания. Электронные меню, автоматизированные системы заказов и варианты безналичной оплаты оптимизируют процесс питания. Чат-боты и помощники на базе искусственного интеллекта также используются для управления заказами и предоставления персонализированных рекомендаций.

Наряду с этим в масложировой промышленности происходит изменение структуры производства источников растительных масел, а именно: отмечается рост производства масличной пальмы, рапса, нетрадиционных видов, дающих функциональные масла (лен, горчица, рыжик и др.), а также более широкое использование маслосодержащих отходов пищевых производств. В контексте цифровизации производственно-сбытового процесса происходит усовершенствование способов рафинации и дезодорации, структурной модификации растительных масел (переэтерификация, фракционирование) с получением продуктов, обладающих широким набором физико-химических и органолептических свойств, выпуск продукции с низким содержанием трансизомеров жирных кислот. Это позволяет расширять ассортимент масложировой продукции со сниженной калорийностью, а также для функционального питания.

Заключение

Таким образом, современное развитие масложировой промышленности определяется переформиро-

ванием глобальных торговых потоков, а также активной промышленной политикой ведущих стран. При этом наблюдается диверсификация отрасли – значительный рост демонстрируют соевое и рапсовое масла. Дальнейшее развитие масложировой промышленности будет определяться способностью ее субъектов адаптироваться ко всем тенденциям, представленным в научной статье, сохраняя баланс между производством и потреблением.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гусаков, В.Г. Продовольственная безопасность: термины и понятия / В.Г. Гусаков. – Минск: энцикл. справочник, 2008. – 535 с.

2. Ильина, З.М. Научные основы продовольственной безопасности / З.М. Ильина. – Минск: ООО «Мисанта», 2001. – 228 с.

3. Пилипук, А.В. Конкурентоспособность предприятий пищевой промышленности Беларуси в условиях построения Евразийского экономического союза / А.В. Пилипук; под ред. В.Г. Гусакова. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2018. – 237 с.

4. Свирейко, Н.Е. Маркетинговые исследования рынка масложировых продуктов / Н.Е. Свирейко // Экономика глазами молодых: материалы I Междунар. экон. форума молодых ученых, Вилейка, 12-14 сентября 2008 г. / редкол.: Г.А. Короленок (отв. ред.) [и др.]. – Минск: БГЭУ, 2008. – С. 170-172.

5. Воробьев, С.П. Основные тенденции производства растительного масла в России и азиатский вектор его экспорта / С.П. Воробьев, В.В. Воробьева // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2025. – Т. 63, № 4. – С. 284-297.

6. Parcell, J. Global Edible Vegetable Oil Market Trends [Текст] / J. Parcell // Biomed J Sci & Tech Res. – 2018. – Vol. 2 – Issue 1. – P. 2282-2291.

7. Киреенко, Н.В. Новые тренды в мировой пищевой промышленности / Н.В. Киреенко // Белорусский экономический журнал. – 2024. – № 1. – С. 23-35.

8. Рыжкова, С.М. Российский рынок масложировой продукции в условиях конкуренции / С.М. Рыжкова, В.М. Кручинская // Вестник ВГУИТ. – 2016. – № 2. – С. 314-322.

9. Gunstone, D.F. Vegetable Oils in Food Technology: Composition, Properties and Uses / F.D. Gunstone // John Wiley & Sons. – 2011. – P. 376.

10. О'Брайан, Р. Жиры и масла. Производство, состав и свойства, применение / Р. О'Брайан: пер. с англ. 2-го изд. В.Д. Широкова, Д.А. Бабейкиной, Н.С. Селивановой, Н.В. Магды. – СПб.: Профессия, 2007. – 752 с.

11. United States Department of Agricultural // Foreign Agricultural Service. − URL : https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads (date of access: 20.04.2026).

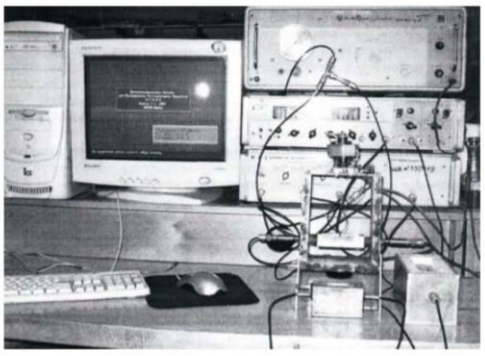
12. Индонезия возвращается к реализации программ производства биодизеля B50 // Агроновости. – URL : https://www.apk-inform.com/ru/news/1553759 (дата обращения: 20.04.2026).

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 04.05.2026

Информационная измерительная система для измерений физических, геометрических, структурных характеристик материалов

Предназначена для исследования и тестирования состояния материалов и сред на основе анализа закономерностей параметрического воздействия изменяющихся во времени характеристик на частотно-фазовые соотношения зондирующих акустических и электрических колебаний.

Измерительная система успешно применена для изучения свойств и состояния магнитных и немагнитных металлов, полимерных композитов, включая кинетику их перехода к твердому состоянию.



Основные технические данные

Измеряемая величина	Диапазон измерения	Погрешность
Электрическая емкость	20... 1000 пФ	$3 \cdot 10^{-2}$ пФ
Индуктивность	10...1000 мкГн	$3 \cdot 10^{-2}$ мкГн
Удельная электрическая проводимость	10^{5}...$5 \cdot 10^{7}$ См/м	10^{-3} См/м
Диэлектрическая проницаемость	1...20	10^{-3}
Избыточная температура	100...500 К	10^{-3} К
Относительные изменения скорости ультразвука	300...6000 м/с	10^{-5}
Малые перемещения	0...1 мм	1 мкм

УДК 338.48
https://doi.org/10.56619/2078-7138-2026-175-3-45-48

МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА АГРОЭКОТУРИЗМА С УЧЕТОМ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭКОНОМИКИ

Лю Сюэпин,
преподаватель профессионально-технического колледжа Аграрного Университета Внутренней Монголии (Китайская Народная Республика), магистр менеджмента, аспирант БГСХА

В статье разработана методика комплексной оценки ресурсного потенциала агроэкотуризма, учитывающая особенности трансформации экономической системы, внутренние возможности и рыночные условия внедрения инновационных и цифровых технологий, расширение туристических продуктов и услуг. В основе разработки лежит теоретическая концепция, объединяющая теорию ресурсного потенциала, теорию устойчивого развития и экономику переходного периода. Это позволило создать четырехмерную трехуровневую систему показателей и использовать методы аналитического иерархического анализа, нечеткой комплексной оценки. Апробация методики и полученные результаты подтверждены на основе сравнительного анализа данных по уезду Аньцзи провинции Чжэцзян (Китай) и Гродненской области (Беларусь).

Ключевые слова: трансформация, агроэкотуризм, методика, оценка ресурсного потенциала, метод аналогий, нечеткая комплексная оценка, сравнительный анализ, эффективность.

The article develops a methodology for a comprehensive assessment of the resource potential of agroecotourism, taking into account the specifics of the transformation of the economic system, internal capabilities and market conditions for the implementation of innovative and digital technologies, and the expansion of tourism products and services. The development is based on a theoretical concept that integrates resource potential theory, sustainable development theory, and transition economics. This allowed for the creation of a four-dimensional, three-level system of indicators and the use of analytical hierarchical analysis and fuzzy integrated assessment methods. The methodology and its results were validated through a comparative analysis of data from Anji County, Zhejiang Province (China), and Grodno Region (Belarus).

Keywords: transformation, agroecotourism, methodology, resource potential assessment, analogy method, fuzzy integrated assessment, comparative analysis, efficiency.

Введение

В условиях трансформации экономики туризм в Республике Беларусь включен в перечень приоритетов социально-экономической политики страны на 2026-2030 годы. Реализация туристического потенциала предусматривает развитие современной инфраструктуры туризма, формирование и продвижение национального туристического бренда, повышение транспортной доступности ключевых точек туристических маршрутов, формирование точек притяжения культурного назначения, цифровую трансформацию индустрии, а также стандартизацию и повышение качества туристических услуг. Выполнение данных задач позволит обеспечить долю сферы туризма в валовом внутреннем продукте страны на уровне не менее 4,5 % к 2030 году (2,5 % в 2024 г.) и рост экспорта туристических услуг – в 2 раза за пятилетие [1].

С научной и практической точки зрения необходимо определить ресурсный потенциал агроэкотуризма в решении средне- и долгосрочных задач государственной политики, позволяющий установить внутренние сильные и слабые стороны субъектов отрасли, а также рыночные внешние возможности и угрозы. Исследования показали, что в настоящее время применяются различные методические подходы к его оценке (комплексный, затратный, доходный, сравнительный), которые базируются на статических и динамических показателях:

– комплексный подход учитывает совокупность трудовых, материальных, финансовых и природных составляющих [2-6];

– затратный – базируется на определении стоимости ресурсов, затраченных на их воспроизводство или приобретение [7-9];

– доходный – направлен на определение получаемого дохода (ренты) при использовании ресурсов, что наиболее актуально для природных ресурсов [10];

– сравнительный – предусматривает сопоставление достигнутых показателей использования ресурсов с эталонными или среднеотраслевыми [11, 12].

С целью обеспечения объективности результатов и в развитие существующих методических подходов оценки ресурсного потенциала агроэкотуризма автором публикации предложена методика, которая основывается на трех теоретических принципах:

1) расширение теории ресурсного потенциала, в рамках которой понятие «ресурсы» рассматривается от природных факторов до комплексной системы капитала, включающей природные, культурные, социальные, человеческие ресурсы и инфраструктуру, с особым акцентом на сервисную ценность экологических ресурсов;

2) теория потенциала устойчивого развития, требующая, чтобы оценка выходила за рамки экономической эффективности и учитывала как социальную справедливость, так и экологическую безопасность, что в полной мере соответствует сути агроэкотуризма;

3) теория экономики переходного периода и зависимости от выбранного пути, подчеркивающая уникальную социально-экономическую систему развития [13-15]. Данные аспекты в совокупности и определили цель и задачи статьи.

Материалы и методы

Научное исследование базировалось на изучении нормативной правовой базы Республики Беларусь в сфере социально-экономической политики и развития туризма, а также систематизации трудов отечественных и зарубежных ученых по вопросам теоретико-методической оценки ресурсного потенциала видов экономической деятельности, в том числе и агроэкотуризма. Использованы методы системного и сравнительного анализа.

Основная часть

Разработанная методика комплексной оценки ресурсного потенциала агроэкотуризма представляет собой дифференцированную систему показателей (табл. 1).

Целевым показателем является комплексный потенциал ресурсов агроэкотуризма (A), включающий четыре измерения: конкурентоспособность ресурсного потенциала (B1, статическая основа); адаптивность к экономической трансформации (B2, динамическая система); осуществимость освоения рынка (B3, рыночная проверка); поддержка устойчивого развития (B4, ценностная ориентация). Исходя из этого, под каждым измерением установлено 4 уровня конкретных показателей (C).

Для решения проблем, связанных с неполнотой данных, неопределенностью информации и сложностью количественной оценки экологической ценности, автором для построения оценочной модели объединены два метода. Так, определение весов с помощью метода аналитических иерархий (первый метод, AHP) проводилось экспертным путем, что позволило выполнить парные сравнения показателей всех уровней по шкале от 1 до 9. После проверки согласованности (CR < 0,1) были определены веса четырех уровней критериев: B1 = 0,30, B2 = 0,25, B3 = 0,25, B4 = 0,20. Данное распределение весов в полной мере отражает учет адаптивности к экономической трансформации и ориентации на устойчивое развитие. Оценка принадлежности с помощью метода нечеткой комплексной оценки (второй метод, FCE) позволила распределить уровень потенциала на очень высокий потенциал, высокий, средний, низкий, очень низкий. На основе оценок экспертов по каждому показателю строится матрица нечеткой принадлежности, а затем с помощью оператора взвешенного среднего проводится многоуровневое нечеткое объединение, в результате чего получаются итоговая оценка потенциала и его уровень.

Для апробации методики в качестве сравнитель-

Таблица 1. Система показателей комплексной оценки ресурсов агроэкотуризма

Целевой показатель (A)	Критерии (B)	Индикаторы (C)
Комплексный потенциал ресурсов агроэкотуризма (A)	Конкурентоспособность по обеспеченности ресурсами (B1)	Природные экологические ресурсы (C11)
		Ресурсы сельского хозяйства (C12)
		Исторические и культурные ресурсы (C13)
		Ресурсы для жизни в сельской местности (C14)
	Адаптивность экономической трансформации (B2)	Четкость прав собственности и возможности торговли (C21)
		Совместимость политики и риски (C22)
		Общественное управление и организационный потенциал (C23)
		Доступность инфраструктуры и государственных услуг (C24)
	Развитие рынка и инфраструктуры (B3)	Расположение и доступность (C31)
		Степень соответствия рыночному спросу (C32)
		Инвестиционные и эксплуатационные расходы (C33)
		Конкурентная и благоприятная среда для сотрудничества (C34)
	Поддержка устойчивого развития (B4)	Экономический рост и нклюзивность (C41)
		Эффект социального и культурного возрождения (C42)
		Экологическая и природоохранная чувствительность (C43)
		Способность справляться с изменением климата (C44)

Примечание. Таблицы 1-3 составлены автором на основе собственных исследований.

ных примеров выбраны уезд Аньцзи провинции Чжэцзян (регион Китая с устоявшейся моделью трансформации, являющийся образцом развития экотуризма) и Гродненская область (регион Беларуси с постепенной моделью трансформации, потенциал агроэкоресурсов которого еще не освоен в полном объеме). Информационная база основывалась на данных официальной статистики за 2023-2024 гг., рыночных отчетах и результатах экспертной оценки (15 экспертов).

Далее проводился сравнительный анализ весовых коэффициентов. Как показал расчет, системы весовых коэффициентов двух регионов отражают различия на этапе трансформации (табл. 2).

Общим моментом является то, что ясность прав собственности (C21) занимает одно из двух первых мест в обоих регионах, что свидетельствует о том, что нормативная правовая система является основой развития агроэкотуризма. Различия заключаются в следующем: уезд Аньцзи уделяет наибольшее внимание природным экологическим ресурсам (C11, 0,120), что отражает его ориентацию на экологическое развитие в рамках концепции «двух гор». В то время как Гродненская область уделяет наибольшее внимание историко-культурным ресурсам (C13, 0,113). Это соответствует концепции развития приоритета социально-экономической политики страны и региона.

С помощью модели AHP-FCE рассчитаны комплексный и отдельные показатели, а также уровни потенциала для обоих регионов (табл. 3).

Комплексный балл уезда Аньцзи составил 4,40, что соответствует зоне приоритетного развития II уровня. Его преимущества заключаются в ресурсном потенциале (B1=4,65) и рыночной жизнеспособности (B3=4,50), в то время как показатель устойчивости развития (B4=3,95) относительно низок, что указывает на необходимость уделять внимание экологической нагрузке и распределению доходов. Комплексный балл Гродненской области составляет 3,11, что относит ее к зоне III уровня, требующей умеренного стимулирования. Развитие региона направлено на эффективные меры адаптации к экономической трансформации, развитию инфраструктуры и расширению агроэкотуристических программ. Это обусловлено выгодным географическим месторасположением, сложившейся исторической культурой, возрастающим спросом на строительство и реконструкцию комфортабельных отелей, мотелей, создание и развитие государственных информационных систем и платформ, включая расширение онлайн-сервисов.

Заключение

На основе теоретико-методического анализа и результатов сравнительного исследования регионов Китая и Беларуси сделаны следующие выводы и предложения:

1. Разработанная методика комплексной оценки ресурсного потенциала агроэкотуризма учитывает особенности трансформации экономической системы, внутренние возможности и рыночные условия внедрения инновационных и цифровых технологий, расширение туристических продуктов и услуг. При этом подход рассматривает устойчивость к трансформации в качестве самостоятельного критерия. Использование способности к экономической трансформации (B2) в качестве ключевого измерения позволяет эффективно диагностировать системные ограничения в сфере прав собственности, управления и инфраструктуры в странах.

Таблица 2. Сравнение общих весов пяти основных показателей в Беларуси и Китае

Рейтинг	Уезд Аньцзи	Общие веса	Гродненская область	Общие веса
1	C11 Природные экологические ресурсы	0,120	C13 Историко-культурные ресурсы	0,113
2	C21 Ясность прав собственности и возможность торговли	0,088	C21 Ясность прав собственности и возможность торговли	0,106
3	C12 Ресурсы сельского хозяйства	0,082	C31 Местоположение и транспортная доступность	0,100
4	C22 Совместимость с политикой и риски	0,071	C43 Экологическая уязвимость	0,055
5	C31 Местоположение и транспортная доступность	0,097	C22 Совместимость с политикой и риски	0,071

Таблица 3. Результаты комплексной оценки ресурсного потенциала агроэкологического туризма в регионах Беларуси и Китае

Показатель, уровень	Оцениваемый регион	
	Уезд Аньцзи	Гродненская область
Конкурентоспособность по обеспеченности ресурсами	4,65	3,85
Адаптивность экономической трансформации	4,18	2,48
Развитие рынка и инфраструктуры	4,50	3,15
Поддержка устойчивого развития	3,95	2,95
Комплексный показатель	4,40	3,11
Уровень потенциала	**III уровень (зона приоритетного развития)**	**II уровень (зона умеренного стимулирования)**

2. В качестве направлений развития агроэкотуризма предложены дифференцированные стратегии, в том числе: рыночная – для регионов, обладающих как богатыми ресурсами, так и благоприятными условиями, где следует сосредоточиться на инновациях в сфере продукции и повышении уровня экологического бренда, одновременно уделяя внимание проблемам, связанным с нагрузкой на экологическую среду; экологическая – для экологически уязвимых регионов, что требует системной поддержки со стороны государства, создавая механизмы мониторинга и компенсации. В то же время в районах, где сохраняется сплоченность местного сообщества, предлагается стратегия эндогенного развития, основанная на расширении возможностей субъектов агроэкотуризма и населения, постепенно наращивая ресурсный потенциал за счет экологического туризма в формате небольших групп с глубоким погружением в культуру.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Об утверждении Программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2026–2030 годы: Решение Всебелорусского народного собрания от 19 декабря 2025 г. № 1 // Национальный правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – URL : https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P925v0001 (дата обращения: 05.05.2026).

2. Киреенко, Н.В. Методология прогнозирования развития внешних рынков агропродовольственных товаров Республики Беларусь / Н.В. Киреенко, И.А. Войтко, К.В. Борель. – Минск: БГАТУ, 2023. – 144 с.

3. Степанов, А.Я. Категория «потенциал» в экономике. Энциклопедия маркетинга / А.Я. Степанов, Н.В. Иванова. – URL: http://www.marketing.spb.ru/read/article/a66. (дата обращения: 29.10.2024).

4. Гусаков, В.Г. Факторы и методы эффективного хозяйствования / В.Г. Гусаков. – Минск: Беларуская навука, 2020. – 56 с.

5. Маммаев, Р.А. Понятие потенциала как экономической категории / Р.А. Маммаев // Вестник Дагестанского государственного университета. – 2006. – Вып. 5. – С. 53-55.

6. Гарипова, З.Ф. Трудовой потенциал и экономический рост / З.Ф. Гарипова, Ф.Н. Гарипов, Х.Н. Гизатуллин; под ред. Х.Н. Гизатуллина. – Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2005. – 184 с.

7. Окорокова, Л.Г. Ресурсный потенциал предприятий / Л.Г. Окорокова. – СПб.: СПбГТУ, 2001. – 294 с.

8. Зиатдинов, Р.Ш. Ресурсный потенциал и пути повышения его эффективности / Р.Ш. Зиатдинов. – Казань: Татарское кн. изд-во, 1997. –151 с.

9. Миско, К.М. Ресурсный потенциал региона (теоретические и методические аспекты исследования) / К.М. Миско. – М.: Наука, 1991. – 94 с.

10. Градов, А.П. Национальная экономика: учебное пособие / А. П. Градов. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2005. – 233 с.

11. Догиль, Л.Ф. Эффективное использование потенциала аграрного производства: монография / Л.Ф. Догиль, А.В. Мозоль. – Минск: БГАТУ, 2008. – 208 с.

12. Chen, W.J. Evaluating the Economic Viability of Agro-Ecotourism as a Nature-Based Solution for a Climate Adaptation Strategy: A Case Study of Yuanshan Township, Taiwan / W.J. Chen, J.F. Jan, C.H. Chung // Sustainability. – 2024. – № 16 (18). – P. 8267.

13. Ли, Нана. Оценка стоимости экологических продуктов горы Циньлин на основе метода AHP-нечеткой комплексной оценки: на примере города Шанло / Ли Нана // Сельскохозяйственная инженерия. – 2024. – № 14 (8). – PP. 160-166.

14. Ян, Яо. Анализ степени интеграции сельского хозяйства и туризма на основе метода AHP-нечеткой комплексной оценки: на примере индустрии белого грейпфрута в Гуншуй, Эньши / Ян Яо, Ван Чуань // Китайские сельскохозяйственные ресурсы и районирование. – 2021. – № 42 (1). – С. 220-230.

15. Хэ, Циянь. Построение модели оценки ресурсов рекреационного сельского туризма в условиях новой нормы / Хэ Циянь // Сельскохозяйственные науки Ляонина. – 2019. – № 3. – С. 52-55.

16. Seddon, N. Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges / N. Seddon, A. Chausson, P. Berry // Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences. – 2020. – 375 vol. (1794). – URL : https://www.sci-hub.ru/10.1098/rstb.2019.0120 (date of access: 05.05.2026).

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 07.05. 2026

Правила для авторов

1. Журнал «Агропанорама» помещает достоверные и обоснованные материалы, которые имеют научное и практическое значение, отличаются актуальностью и новизной, способствуют повышению экономической эффективности агропромышленного производства, носят законченный характер. Статьи публикуются на русском языке.

Приказом ВАК от 4 июля 2005 г. № 101 (в редакции приказа ВАК от 2.02.2011 г. № 26) журнал «Агропанорама» включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (сельскохозяйственное машиностроение и энергетика, технический сервис в АПК), экономическим (АПК) и сельскохозяйственным (зоотехния) наукам.

2. Объем научной статьи, учитываемой в качестве публикации по теме диссертации, должен составлять, как правило, не менее 0,35 авторского листа (14000 печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и др.), что соответствует 8 стр. текста, напечатанного через 2 интервала между строками (5,5 стр. в случае печати через 1,5 интервала).

Рукопись статьи, представляемая в редакцию, должна удовлетворять основным требованиям современной компьютерной верстки. К набору текста и формул предъявляется ряд требований:

1) рукопись, подготовленная в электронном виде, должна быть набрана в текстовом редакторе Word версии 6.0 или более поздней. Файл сохраняется в формате «doc»;

2) текст следует сформатировать без переносов и выравнивания правого края текста, для набора использовать один из самых распространенных шрифтов типа Times (например, Times New Roman Cyr, Times ET);

3) знаки препинания (.,!?:;...) не отделяются пробелом от слова, за которым следуют, но после них пробел обязателен. Кавычки и скобки не отделяются пробелом от слова или выражения внутри них. Следует различать дефис«-» и длинное тире «–». Длинное тире набирается в редакторе Word комбинацией клавиш: Ctrl+Shift+«-». От соседних участков текста оно отделяется единичными пробелами. Исключение: длинное тире не отделяется пробелами между цифрами или числами: 1991-1996;

4) при наборе формул необходимо следовать общепринятым правилам:

а) формулы набираются только в редакторе формул Microsoft Equation. Размер шрифта 12. При длине формулы более 8,5 см желательно продолжение перенести на следующую строчку;

б) буквы латинского алфавита, обозначающие переменные, постоянные, коэффициенты, индексы и т.д., набираются курсивом;

в) элементы, обозначаемые буквами греческого и русского алфавитов, набираются шрифтом прямого начертания;

г) цифры набираются шрифтом прямого начертания;

д) аббревиатуры функций набираются прямо;

е) специальные символы и элементы, обозначаемые буквами греческого алфавита, использованные при наборе формул, вставляются в текст только в редакторе формул Microsoft Equation.

ж) пронумерованные формулы пишутся в отдельной от текста строке, а номер формулы ставится у правого края.

Нумеруются лишь те формулы, на которые имеются ссылки в тексте.

3. Рисунки, графики, диаграммы необходимо выполнять с использованием электронных редакторов и вставлять в файл документа Word. Изображение должно быть четким, толщина линий более 0,5 пт, размер рисунка по ширине: 5,6 см, 11,5 см, 17,5 см и 8,5 см.

4. Цифровой материал должен оформляться в виде таблиц. Каждая таблица должна иметь заголовок и номер (если таблиц несколько). Рекомендуется установить толщину линии не менее 1 пт. В оформлении таблиц и графиков не следует применять выделение цветом, заливку фона.

Фотографии и рисунки должны быть представлены в электронном виде в отдельных файлах формата *.tif или *.jpg с разрешением 300 dpi.

Научные статьи, публикуемые в изданиях, включенных в перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, должны включать:

индекс УДК;

название статьи;

фамилию и инициалы, должность, ученую степень и звание автора (авторов) статьи;

аннотацию на русском и английском языках;

ключевые слова на русском и английском языках;

введение;

основную часть, включающую графики и другой иллюстративный материал (при их наличии);

заключение, завершаемое четко сформулированными выводами;

список цитированных источников;

дату поступления статьи в редакцию.

В разделе «Введение» должен быть дан краткий обзор литературы по данной проблеме, указаны не решенные ранее вопросы, сформулирована и обоснована цель работы.

Основная часть статьи должна содержать описание методики, аппаратуры, объектов исследования и подробно освещать содержание исследований, проведенных авторами.

В разделе «Заключение» должны быть в сжатом виде сформулированы основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения.

Дополнительно в структуру статьи может быть включен перечень принятых обозначений и сокращений.

5. Литература должна быть представлена общим списком в конце статьи. Библиографические записи располагаются в алфавитном порядке на языке оригинала или в порядке цитирования. Ссылки в тексте обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

6. Статьи из научно-исследовательских или высших учебных заведений направляются вместе с сопроводительным письмом, подписанным директором и приложенной экспертной справкой по установленной форме.

7. Статьи принимаются в электронном виде с распечаткой в одном экземпляре. Распечатанный текст статьи должен быть подписан всеми авторами. В конце статьи необходимо указать полное название учреждения образования, организации, предприятия, ученую степень и ученое звание (если есть), а также полный почтовый адрес и номер телефона (служебный или домашний) каждого автора.

8. Авторы несут ответственность за направление в редакцию статей, опубликованных ранее или принятых к печати другими изданиями.

9. Плата за опубликование научных статей не взимается.

10. Право первоочередного опубликования статей предоставляется лицам, осуществляющим послевузовское обучение (аспирантура, докторантура, соискательство), в год завершения обучения.

Авторские материалы для публикации в журнале «Агропанорама» направляются в редакцию по адресу:

220012, г. Минск, пр-т Независимости, 99, корп. 5, к. 602; 608. БГАТУ

Учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет»
объявляет прием в аспирантуру в 2026 году
по следующим специальностям:

05.05.03 «Колесные и гусеничные машины»
05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»
05.20.02 «Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве»
05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве»
05.26.01 «Охрана труда (по отраслям)»
08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности)»

Прием документов – с 1 августа по 30 сентября 2026 г.
Вступительные экзамены по специальной дисциплине в объеме учебной программы I ступени высшего образования – с 12 по 21 октября 2026 г.
Начало занятий в аспирантуре – с 1 ноября 2026 г.

Поступающие в аспирантуру представляют в приемную комиссию следующие документы:

1. Заявление на имя руководителя учреждения образования, организации, реализующей образовательные программы послевузовского образования, по установленной форме.
2. Личный листок по учету кадров.
3. Автобиографию.
4. Копии диплома о высшем образовании и прилагаемой к нему выписки из зачетно-экзаменационной ведомости.
5. Копии диплома магистра и прилагаемой к нему выписки из зачетно-экзаменационной ведомости (при наличии).
6. Копию удостоверения о сдаче кандидатских зачетов (дифференцированных зачетов) и кандидатских экзаменов по общеобразовательным дисциплинам (для лиц, поступающих для обучения в форме соискательства, – при наличии).
7. Копию трудовой книжки либо иные документы, подтверждающие необходимый стаж работы, или рекомендация ученого совета (совета) учреждения высшего образования или факультета этого учреждения (для поступающих в год окончания обучения в данном учреждении).
8. Заявку организации – заказчика кадров (при наличии).
9. Список и копии опубликованных научных работ, а при их отсутствии – научный реферат по профилю избранной специальности.
10. Материалы, относящиеся к объектам интеллектуальной собственности, зарегистрированные в установленном порядке, выписки из отчетов, справки об участии в выполнении научно-исследовательских и инновационных проектов, акты об использовании результатов научных разработок, копии материалов и (или) тезисов докладов на научных, научно-практических конференциях, съездах, симпозиумах и других подобных мероприятиях (при наличии).
11. Заключение научного семинара лаборатории (заседания кафедры) об актуальности темы, качестве и объеме самостоятельно выполненных данным лицом исследований по теме подготавливаемой диссертации (для поступающих в аспирантуру для обучения в форме соискательства).
12. Документы, дающие преимущественное право для зачисления в аспирантуру (при наличии).
13. Три фотографии размером 4×6 см (для поступающих в аспирантуру для обучения в форме соискательства – 2 фотографии).
14. Медицинскую справку о состоянии здоровья по форме, установленной Министерством здравоохранения.

Документ, удостоверяющий личность, и подлинники документов об образовании предъявляются лично.

Подробная информация на сайте БГАТУ: http://www.bsatu.by
и по телефонам аспирантуры (+375 17) 385 91 07; 373-34-74
Адрес приемной комиссии:
220012, г. Минск, пр-т Независимости, 99, кор. 5-1, каб. 504; 529

