

На правах рукописи



ЗЮБА ВАЛЕНТИН ВЛАДИМИРОВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОЙКИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ РЕМОНТЕ
АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ
КОМПЛЕКСЕ**

Специальность 4.3.1 Технологии, машины и оборудование для
агропромышленного комплекса

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань, 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ).

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор
Фадеев Иван Васильевич

Официальные оппоненты

Кравченко Игорь Николаевич,

доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева», профессор кафедры технического сервиса машин и оборудования

Дорохов Андрей Валерьевич,

кандидат химических наук, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», старший научный сотрудник лаборатории организации хранения и защиты техники от коррозии

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Защита диссертации состоится «27» мая 2025 года в 11.00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.031.01 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по адресу 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, зал заседаний диссертационного совета.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО РГАТУ, на сайте: www.rgatu.ru, с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства науки и высшего образования Российской Федерации <https://vak.minobrnauki.gov.ru>

Автореферат разослан « ___ » _____ 2025 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

доктор технических наук, профессор



Юхин Иван Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Очистка деталей от различных загрязнений является одним из важнейших этапов при ремонте агрегатов автотракторной техники. В настоящее время для эффективного удаления загрязнений с поверхностей деталей, что улучшает санитарные условия труда и повышает экологичность технологических процессов ремонта, используют синтетические моющие средства (СМС), которые в своем составе содержат поверхностно-активные вещества (ПАВ).

Мойка деталей относится к ресурсо-, энерго- и трудоемким процессам, так как при этом затрачивается большое количество воды, СМС, электроэнергии и труда. В настоящее время повышаются требования к экономии ресурсов, санитарно-гигиеническим условиям труда, охране окружающей среды, что, в первую очередь, относится и к процессу мойки деталей.

Современные промышленные СМС, с помощью которых осуществляется мойка деталей при ремонте агрегатов автотракторной техники на предприятиях АПК, обладают недостаточными моющими и противокоррозионными свойствами. Они токсичны и представляют определенную опасность здоровью работников и окружающей среде, что объясняется содержанием в их составе хроматов, назначение которых заключается в повышении противокоррозионных свойств СМС.

Эффективная мойка деталей повышает качество ремонта, межремонтную наработку агрегатов автотракторной техники на 20-30%, производительность труда до 8%, снижает трудовые и материальные затраты, а также отрицательное воздействие ремонтного производства на здоровье людей и природу.

Приведенные факты обосновывают **актуальность** и востребованность повышения эффективности мойки деталей при ремонте агрегатов автотракторной техники на предприятиях АПК.

Степень разработанности темы исследования. Загрязнение поверхностей деталей агрегатов и систем в процессе эксплуатации автотракторной техники отрицательно сказывается на ее эксплуатационных показателях и функциональных возможностях. Основные проявления такого влияния включают снижение мощности двигателя, увеличение расхода топлива и смазочных материалов, ускоренное изнашивание трущихся элементов, что приводит к нарушению точности посадки сопряжений. Также ухудшается работа радиаторов, фильтров и других функциональных узлов, что в совокупности значительно сокращает срок службы как отдельных агрегатов, так и техники в целом. Поэтому очистка деталей при их ремонте становится одной из ключевых технологических операций.

Исследованиями мойки деталей с целью повышения ее эффективности занимались и занимаются многие российские ученые Тельнов Н.Ф., Бышов

Н.В., Козлов Ю.С., Шемякин А.В., Ребиндер П.А., Успенский И.А., Дегтерев Г.П., Карагодин В.И., Приходько В.М., Карелина М.Ю., Кравченко И.Н., Катаев Ю.В., Дорохов А.В., Садетдинов Ш.В., Лялякин В.П., Юхин И.А., Фадеев И.В. и другие. Из зарубежных ученых в этой области исследований можно отметить Джона Б. Дурки, Кэрола А. Леблан, Дэвида С. Питерсона и других.

При кафедре технической эксплуатации транспорта ФГБОУ ВО РГАТУ создана научная школа по совершенствованию технологического процесса мойки деталей при ремонте агрегатов автотракторной техники, где проводятся комплексные исследования по повышению степени очистки и коррозионной стойкости вымытых деталей, что отражено в ряде опубликованных научных трудов, статьях и защищенных диссертациях.

Совершенствование мойки деталей способствует повышению экологичности процесса ремонта агрегатов автотракторной техники, производительности труда работников ремонтного производства, качества дефектовочных и «ремонтных работ, межремонтной наработки агрегатов и машины в целом, улучшению санитарно-гигиенических условий труда, экономии трудовых и материальных затрат при ремонте агрегатов автотракторной техники.

Цель исследования – повышение эффективности мойки деталей при ремонте агрегатов автотракторной техники.

Эффективность технологического процесса мойки характеризуется степенью очистки деталей, которая зависит от режима, способа мойки, средств и оборудования для мойки, выбор которых определяется видом загрязнений, размерами, материалом деталей и другими факторами.

Для достижения поставленной цели исследования необходимо решить следующие **задачи**:

1. Определение резервов повышения эффективности мойки деталей.
2. Повышение степени очистки и коррозионной стойкости деталей улучшением свойств моющего раствора за счет введения активизирующей добавки и активации раствора.
3. Экспериментальное определение влияния концентрации активизирующей добавки на моющие и противокоррозионные характеристики раствора синтетического моющего средства, а также выявление наиболее эффективного метода активации.
4. Разработка математического описания зависимости степени очистки деталей от изменяемых параметров процесса мойки, а также их взаимосвязей.
5. Провести производственную проверку разработанной технологии, оценить ее технико-экономический эффект и целесообразность внедрения в практику.

Объект исследования: процесс погружной мойки деталей.

Предмет исследования. Параметры погружной мойки деталей, свойства раствора.

Научная новизна работы:

- разработан и обоснован комплекс мер, направленных на повышение эффективности мойки деталей за счет рационального подбора технологических параметров;
- предложен способ улучшения характеристик моющего раствора путем введения в его состав активизирующей добавки и использования усовершенствованного метода активации раствора;
- экспериментально установлены зависимости между степенью очистки деталей и изменяющимися параметрами процесса мойки, что позволило получить математическую модель, отражающую их взаимосвязь;
- путем проведения экспериментов и расчетами установлены рациональные концентрации СМС и добавки для моющего раствора, продолжительность мойки и температура раствора.

Теоретическая и практическая значимости работы.

Теоретическая значимость. Доказана эффективность использования монобората калия (МБК) для улучшения моющих и ингибиторных свойств СМС; установлены закономерности влияния концентрации МБК в растворе на моющую способность СМС; обоснованы рациональные значения параметров процесса мойки; определен эффективный способ активации моющего раствора; получена математическая модель, отражающая взаимосвязи степени очистки деталей и переменных параметров технологического процесса мойки и их сочетаний.

Практическая значимость. Разработан состав и способ активации моющего раствора для повышения эффективности процесса погружной мойки деталей при ремонте агрегатов автотракторной техники.

Методы исследований. Исследования проводились с применением теории планирования экспериментов, что позволило минимизировать количество опытов и обеспечить их достоверность; методов математического моделирования, использованных для описания процессов мойки и построения зависимостей между основными параметрами; методов математической статистики, включающих корреляционный и регрессионный анализ.

В лабораторных и производственных исследованиях основывались на стандартных и собственных методиках, разработанных в ходе работы. Изучение моющих свойств СМС и активизирующей добавки осуществлялось на оригинальной установке, изготовленной на кафедре технической эксплуатации транспорта ФГБОУ ВО РГАТУ, с использованием гравиметрического метода. Коррозионную стойкость деталей, вымытых в растворах СМС без добавки и с добавкой определяли по интервалу времени с момента завершения мойки до появления на их поверхности первых очагов коррозии.

Положения, выносимые на защиту:

1. Усовершенствование состава СМС путем введения в его раствор специально подобранной активизирующей добавки и применения эффективной активации моющего раствора.

2. Уравнения, описывающие влияние концентрации активизирующей добавки на моющую способность раствора.

3. Математическое описание влияния переменных параметров технологического процесса мойки и их сочетаний на степень очистки деталей.

4. Показатели производственной проверки результатов исследования.

Степень достоверности результатов исследования. Достоверность проведенного исследования обеспечивается использованием современных методов планирования экспериментов, что минимизирует случайные погрешности; применением измерительного оборудования, прошедшего метрологический контроль, что гарантирует точность полученных данных; сравнением экспериментальных и теоретически рассчитанных данных, расхождение которых не превышает 3%, что подтверждает адекватность полученных математических моделей.

Реализация результатов исследований. Результаты исследований внедрены и используются в технологических процессах ТО и ремонта автотракторной техники в ООО «СПК Новоселки» Рыбновского района Рязанской области.

Апробация результатов исследования. Основные результаты, полученные в ходе диссертационных исследований, докладывались и обсуждались на научно-практических конференциях различных уровней: *международных:* «Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники» (г. Рязань, ФГБОУ ВО РГАТУ, 2024 г.), *всероссийских с международным участием:* «Автомобильный транспорт: эксплуатация, сервис, подготовка кадров» (г. Чебоксары, ЧГПУ им. И. Я. Яковлева, 2023, 2024 гг.).

Личный вклад соискателя. В рамках работы автором самостоятельно разработаны: метод повышения эффективности мойки деталей, включающий применение активизирующей добавки и комбинированного способа активации раствора; комплекс лабораторных и производственных экспериментов, направленных на изучение влияния различных факторов на качество очистки; методика анализа и обработки экспериментальных данных, подтверждающие эффективность предложенных решений; рекомендации по внедрению разработанной технологии в производство.

Публикации. По теме диссертации опубликованы 3 статьи в журналах, рецензируемых ВАК. Общий объем публикаций составляет 1,18 условных печатных листа, из которых доля автора – 0,95 условных печатных листа.

Структура и объем диссертации. Диссертация представлена на 133 страницах, включает введение, пять глав с 32 таблицами и 34 рисунками,

заклучение, список литературы (120 наименований, включая 4 иностранных источника), и приложения, содержащие подтверждающие материалы по внедрению разработанных методик в производство.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы исследования и описывается степень ее разработанности, ставятся цель и задачи исследований, раскрываются методология и методы исследований, приводятся научная новизна, теоретическая и практическая значимости работы, основные положения диссертации, выносимые на защиту, отражены степень достоверности и апробация результатов исследования.

В первой главе «Анализ современных подходов к мойке деталей в процессе ремонта агрегатов автотракторной техники» рассмотрены и определены основные причины отложения загрязнений на деталях машин, приведены характеристики по видам загрязнений и наиболее применяемым для мойки деталей средств, проведен анализ современных моечных установок, способов мойки, раскрыты их преимущества и недостатки.

Загрязнение поверхностей деталей агрегатов и систем в процессе эксплуатации автотракторной техники отрицательно сказывается на ее эксплуатационных показателях и рабочих характеристиках: снижается мощность двигателя, повышается расход топлива и масел, износ трущихся частей, что приводит к нарушению посадки в сопряжениях, ухудшается работа радиаторов, фильтров и т.п. В результате снижается ресурс агрегатов и автотракторной техники в целом на 20-30%. Удаление загрязнений улучшает качество дефектации, восстановления деталей, санитарные условия труда работников, снижает появление брака и на 6-8% повышает производительность труда на разборочных и сборочных операциях.

Все загрязнения подразделяют на эксплуатационные (дорожная грязь, масляно-грязевые отложения, лаковые отложения, нагар, накипь и другие) и технологические (стружка, абразив, окалина, шлаки, остатки эмульсий и другие). Загрязнения классифицируются также по физико-механическим свойствам, смачиваемости, источникам образования и т.п.

Для повышения степени очистки деталей от загрязнений принимают меры по предупреждению или снижению образования загрязнений (введение присадок в топливо и смазочные материалы, нанесение противадгезионных и противокоррозионных покрытий), разрабатываются эффективные способы очистки деталей, которые основаны на использовании определенного способа разрушения адгезионно-когезионных связей загрязнений и их удаления.

В настоящее время применяются химический, физико-химический, электрохимический, ультразвуковой, термический и механический способы очистки. Физико-химический способ (струйный и в ваннах) является наиболее предпочтительным в ремонтном производстве предприятий АПК.

Во всех процессах мойки и очистки используются синтетические моющие средства (СМС) типа Лабомид, МС, МЛ, Темп и другие, выпускаемые в виде сыпучего, гигроскопичного белого или светло-желтого порошка, основу которых составляют ПАВ, органические растворители, нейтральные жидкости, растворяюще-эмульгирующие средства (РЭС). Их действие основано на растворении, адсорбции, эмульгировании, диспергировании загрязнений и других процессах. В качестве недостатков по этим средствам можно отметить существенный расход энергии для обеспечения температурного режима мойки, не высокие моющие и ингибиторные свойства.

К моечным машинам с физико-химическим способом удаления загрязнений относятся машины, работающие с применением струи воды высокого давления (непрерывной, пульсирующей струей, пароводоструйная); моечные камеры (с вибрацией и без вибрации детали); погружные ванны с моющим раствором (с возбуждением жидкости с помощью колеблющейся платформы, лопастных гидравлических винтов, ультразвука и др.).

Проведенный анализ позволяет констатировать, что, не смотря на перспективность и используемость технологии мойки с применением струи воды высокого давления, более привлекательным способом очистки является погружная мойка, эффективность которой можно повысить обоснованным подбором значений параметров и способа активации раствора.

Во второй главе «Теоретические аспекты повышения эффективности очистки и противокоррозионной защиты деталей при их мойке» проведены теоретические исследования влияния комплекса свойств СМС, параметров погружной мойки на степень очистки и коррозионную стойкость деталей.

Известно, что только за счет неудовлетворительной очистки деталей ресурс отремонтированных агрегатов автотракторной техники уменьшается на 20-30%, производительность труда – до 8%. Совершенствование процесса мойки подразумевает улучшение степени очистки и противокоррозионной защиты деталей, реализуемое в настоящей работе использованием более эффективного способа активации и состава моющего раствора.

Процесс мойки представляет собой комплекс параллельно-последовательных физико-химических и физико-механических процессов. Его можно представить в виде трех основных стадий: смачивание раствором СМС поверхности загрязненной детали; удаление загрязнения путем эмульгирования, солубилизации, диспергирования, расклинивающего давления на границе раздела «поверхность детали-загрязнение»; удержание загрязнения в объеме раствора (стабилизация), предотвращение его осаждения на очищаемой поверхности (антиресорбция) и удаление его из ванны моечной машины в солубилизованном, диспергированном или эмульгированном виде.

Первой фазой любого процесса отмывания загрязнений является смачивание, заключающееся во взаимодействии жидкости с поверхностью тела. Чем лучше контакт моющего средства с обмываемой поверхностью, тем при прочих равных условиях сильнее моющее действие и наоборот.

Для смачивания и последующего удаления гидрофобных частиц загрязнений моющая жидкость должна содержать ПАВ и специальные добавки. Степень очистки загрязненных поверхностей деталей повышается за счет использования в моющих растворах специальных добавок с высокими смачивающими свойствами, уменьшающими краевой угол смачивания θ (рис. 1).

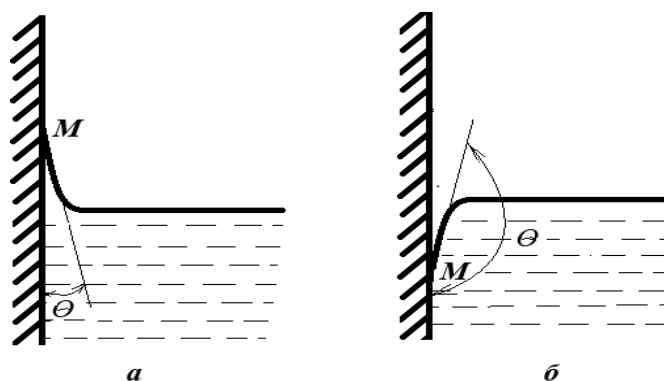


Рисунок 1 – Мениски жидкости: *a* – смачивающей (вогнутый),
б – несмачивающей (выгнутый)

При растворении СМС в воде происходит реакция гидролиза. В результате образуется обильная пена, которая и втягивает в себя (сортирует) частицы грязи, содержащиеся в воде и на очищаемом объекте. Ее количество регулируется ПАВом, поскольку и недостаток, и переизбыток пены в равной степени ухудшают качество очищения поверхности.

Очистку погружением широко применяют для удаления загрязнений с деталей сложной формы, в случаях, когда струйный способ не обеспечивает очистку поверхности без прямого попадания струи, или когда требуется очищать поверхности моющими жидкостями, которые нельзя, или нецелесообразно по каким-либо причинам использовать в струйных установках. Процесс разрушения загрязнений при мойке деталей погружением в раствор включает в себя сложные химические, физические и механические взаимодействия, направленные на эффективное отделение загрязнений от поверхности деталей и их последующее удаление. Мойка погружением включает несколько этапов: погружение деталей, мойка, полоскание, сушка.

Основными параметрами процесса погружной мойки являются продолжительность, сила механического воздействия на загрязнения, концентрация синтетического моющего средства и активизирующей добавки в растворе и температура раствора. Для повышения эффективности процесса погружной мойки необходимо управлять этими переменными параметрами. Если один из параметров изменить, нужно скорректировать остальные, иначе

качество промывки снизится. На рис. 2 приведена схема влияния параметров погружной мойки на степень очистки деталей.

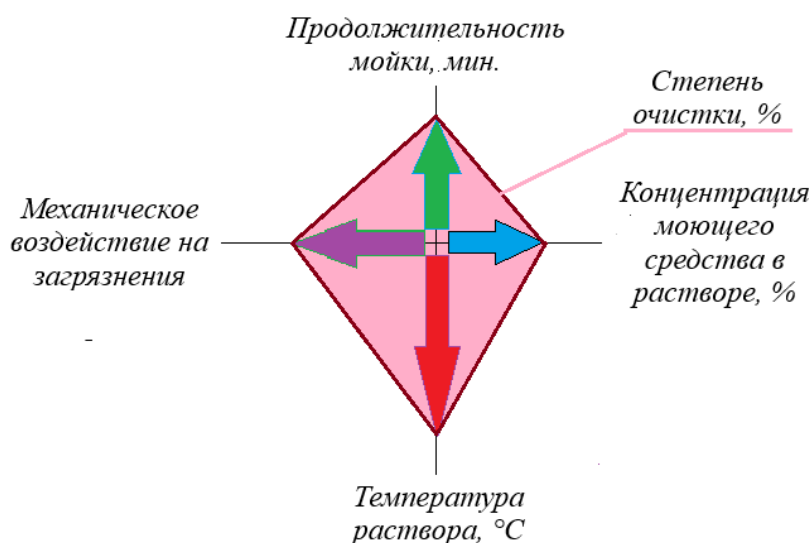


Рисунок 2 – Влияние значения параметров погружной мойки на степень очистки деталей

На увеличение интенсивности процесса очистки деталей погружением влияет механическое воздействие на загрязнения, которое создает наилучшие условия обтекания поверхности детали моющим раствором, разрушает адгезионно-когезионные свойства загрязнений.

Работу погружной мойки можно выразить формулой:

$$A_o = A_{фх} + A_m \quad (1)$$

где $A_{фх}$ – работа, совершаемая моющей средой вследствие физико-химической активности, зависит от концентрации и температуры моющей среды, а также от эффективности СМС и специальных добавок в растворы;

A_m – работа на разрушение адгезионно-когезионных связей загрязнения, вследствие механического воздействия моющей среды на загрязнение, зависит от механической активации процесса мойки (глубинные струи, вибрации, ультразвуковые колебания, центрифуга, барботаж и т. д.).

Чем выше физико-химическая активность моющей среды, т. е. больше $A_{фх}$, тем меньше требуется затрачивать механическую энергию; чем физико-химическая активность пассивнее моющей среды, т. е. меньше $A_{фх}$, тем больше потребуется затратить механическую энергию (A_m) для получения одинакового результата мойки. Рациональные величины $A_{фх}$ и A_m моечного процесса выбирают, основываясь на технологических и экономических соображениях.

Для правильного подбора моющего средства, которое полностью удалит загрязнения и не повредит деталь, необходимо определить её материал, вид загрязнения и pH моющего средства (рис. 3).

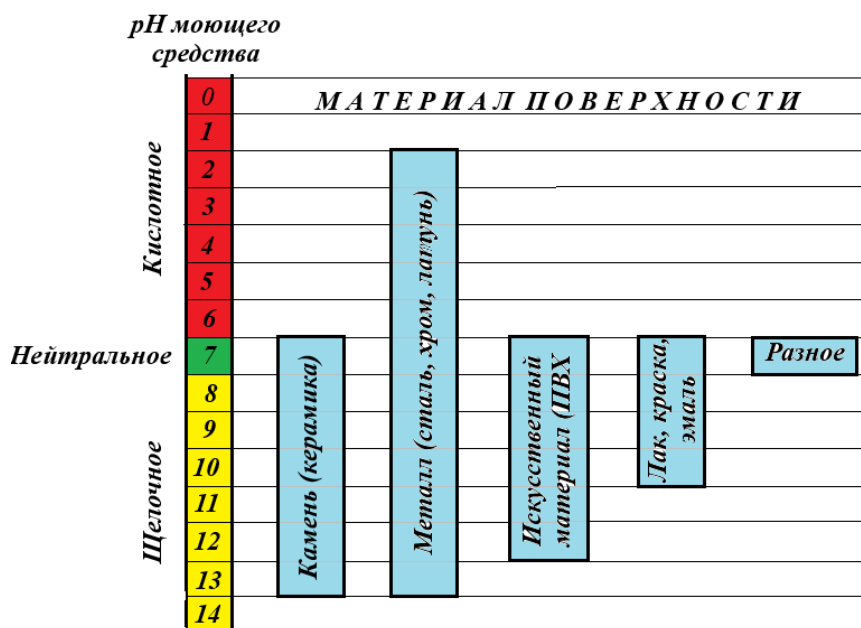


Рисунок 3 – Выбор моющего средства в зависимости от материала детали и pH моющего средства и материала детали

Основными показателями моющего средства являются его моющие и противокоррозионные свойства, характеризующие степень очистки поверхностей и продолжительностью времени до появления первых очагов коррозии на поверхности деталей после мойки в растворе испытываемого средства.

Степень очистки ($C_{оч.}$) поверхностей часто оценивается визуально, но для количественной оценки можно воспользоваться весовым (гравиметрическим) методом с использованием формулы:

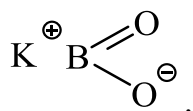
$$C_{оч.} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100\%, \quad (2)$$

где M_1 – масса загрязнения на испытуемых образцах, г;

M_2 – масса оставшегося загрязнения на очищаемых образцах после мойки, г.

В любой программе очистки коррозия очищенных деталей является проблемой, так как одной из причин нарушения работоспособности автотракторной техники может быть не качественная мойка, низкая коррозионная стойкость вымытых деталей из-за применения растворов с низкой моющей и ингибиторной способностью. Коррозия может возникнуть после завершения этапа очистки, а также в процессе хранения деталей. Для повышения противокоррозионных свойств в СМС добавляют ингибиторы коррозии, в основном хроматы, которые по вредности относятся к веществам 2-го класса опасности.

В качестве добавки, которая повышает и противокоррозионные и моющие свойства раствора СМС, в данной работе изучен моноборат калия (KBO_2) (МБК), который, в сравнении с хроматами, относится к веществам 4-го класса опасности, и имеет структурную схему:



Способность моющего средства повышать противокоррозионную стойкость очищаемой поверхности объясняется формированием на ней защитной пленки.

В третьей главе «Лабораторные исследования и их методика» описываются устройство и принцип работы моечной установки, разработанной на кафедре технической эксплуатации транспорта ФГБОУ ВО РГАТУ, которая применяется для исследования зависимости степени очистки деталей от параметров процесса мойки и способов активации раствора при мойке деталей погружением в раствор. Установка может работать в четырех режимах и позволяет очищать от эксплуатационных и технологических загрязнений поверхностей деталей, имеющих габаритные размеры не более 300×300×300 (мм), с помощью теплового, механического и химического воздействия раствора. Общая масса деталей в корзине не должна превышать 20 кг.

Для производственных испытаний была разработана методика оценки противокоррозионных свойств растворов с фиксацией продолжительности времени с момента завершения мойки деталей до появления на их поверхности первых очагов коррозии.

Исследования моющих и противокоррозионных свойств растворов проводились с использованием в качестве образцов пластин из стали 40Х размером 100×30×2 мм, шлифованных с одной стороны. Выбор материала образцов обосновывается тем, что большинство деталей основных агрегатов автотракторной техники изготовлены из стали 40Х.

Порядок выполнения работ был следующий: подготовка образцов (удаление первичных продуктов коррозии и окалины); трехкратное измерение размеров образцов; обезжиривание поверхности образцов с одной стороны венской известью, промывка холодной водой и просушка между листами фильтровальной бумаги; взвешивание образцов; нанесение на обезжиренную, шлифованную сторону образцов модельного загрязнения равномерным слоем; выдерживание образцов в воздухе в течение 30 мин; взвешивание образцов с загрязнением; подготовка моющего раствора и заполнение ванны моечной установки; подогрев раствора до требуемой температуры; размещение образцов в моечную установку пакетами по пять штук, которое определено предварительными экспериментами; подключение исследуемого способа активации раствора; определение моющей способности раствора весовым методом по формуле 2. Продолжительность процесса мойки определялась программой исследований. В качестве искусственного загрязнения при проведении экспериментов использована смесь картерной смазки и отложений в роторе центрифуги системы смазки дизелей в соотношении 2:1 по массе.

Рациональную концентрацию МБК в моющем растворе определяли, изучая

зависимость моющих и противокоррозионных свойств раствора от концентрации МБК. По максимальным значениям показателей, характеризующих свойства раствора, определяли рациональную концентрацию МБК в растворе, равную 5 г/л.

С целью уточнения степени влияния параметров погружной мойки и их сочетаний на эффективность раствора, также оптимизации процесса мойки принято решение провести многофакторный эксперимент $N = 2^4$, где факторами являются: концентрация СМС, концентрация МБК, температура раствора и продолжительность мойки. Были составлены матрица планирования, план четырехфакторного эксперимента.

Коэффициенты регрессии определяли по формуле:

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji} \cdot y_n}{N}, \quad (3)$$

где x_i – параметры процесса мойки; N – число опытов.

Воспроизводимость экспериментов определяли по значению критерия Кохрена G_p . После получения уравнения проводили полный статистический анализ, определили значимость коэффициентов регрессии. Незначимые члены уравнения исключили, затем адекватность остаточного уравнения оценили по критерию Фишера. По знаку и значению коэффициентов уравнения определили влияние того или иного фактора на процесс мойки. Знак «+» означает положительное, а знак «-» означает отрицательное влияние фактора на степень очистки.

В четвертой главе «Лабораторные исследования и анализ их результатов» приведены результаты лабораторных исследований по определению рациональной продолжительности погружной мойки, температуры, концентрации Лабомид-203, МБК в растворе, изучению влияния способов активации на эффективность моющего раствора.

По результатам экспериментов получено уравнение зависимости степени очистки (y) от продолжительности погружной мойки (x):

$$y = 13,6 + 8,81x.$$

В условиях ремонтного производства не требуется 100%-я очистка поверхностей деталей агрегатов, и добиться такой степени очистки практически невозможно. Степень очистки определяется технологическими требованиями. В связи с этим рациональную продолжительность мойки определили из условия 80%-й степени очистки ($y = 80\%$), которая равна 9 минутам.

Для установления рационального температурного режима мойки деталей в погружных моечных машинах проведен ряд экспериментов по изучению зависимости степени очистки от температуры моющего раствора, результаты которого приведены на рис. 4.

По точкам расположения результатов экспериментов на графике видно, что зависимость аппроксимируется уравнением полиномиальной зависимости третьей степени: $y = -3,4333x^3 + 29x^2 - 50,767x + 41,38$.

Решая это уравнения из условия 80%-й степени очистки деталей получим, что рациональная температура раствора равна 78°C. На практике температуру раствора Лабомид-203 в погружных моечных машинах для эффективного удаления загрязнений допускается поддерживать в интервале 75-95°C.

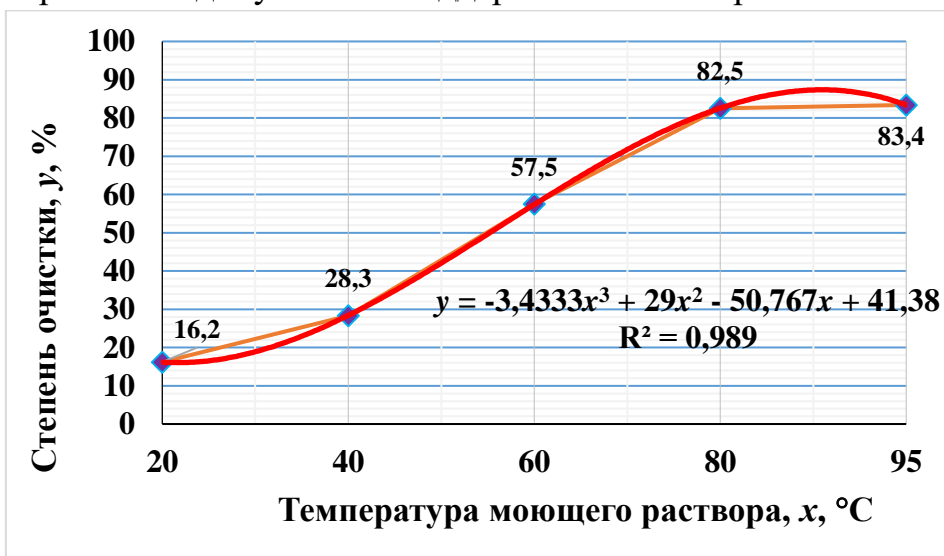


Рисунок 4 – Зависимость степени очистки образцов (y, %) от температуры 3%-го раствора Лабомид-203 (x, °C)

Рациональная концентрация Лабомид-203 в растворе получена экспериментальным изучением зависимости эффективности раствора температурой 80-85°C от концентрации Лабомид-203 при длительности мойки 9 мин. Результаты показаны на рис. 5.

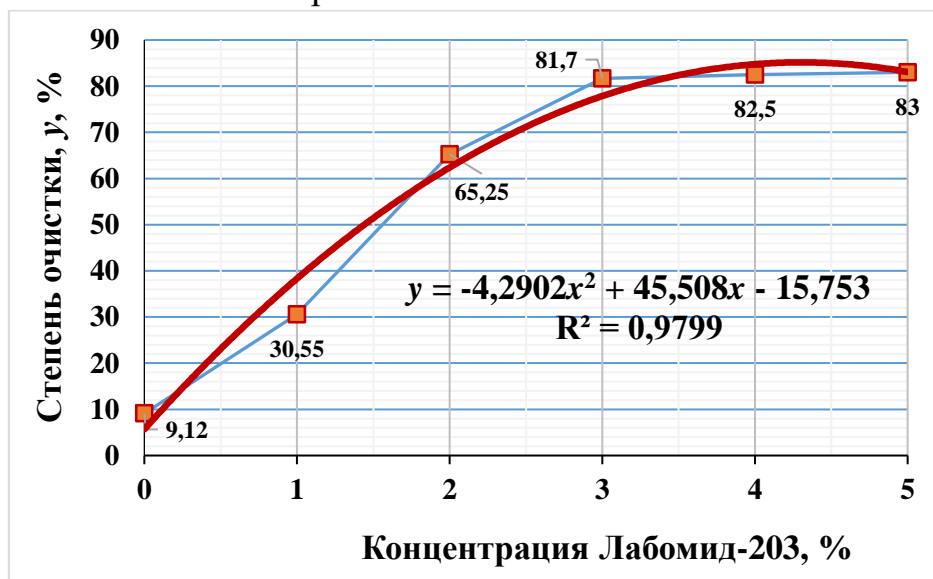


Рисунок 5 – Зависимость степени очистки образцов (y, %) от концентрации Лабомид-203 (x, %) в растворе

Анализ графика и решение уравнения $y = -4,2902x^2 + 45,508x - 15,753$ относительно 80%-й степени очистки позволяет утверждать, что рациональная концентрация Лабомид-203 в растворе составит 3%.

Результаты проверки коррозионной стойкости образцов, вымытых в

растворах при различных концентрациях Лабомид-203, приведены в табл. 1.

Повышение концентрации Лабомид-203 приводит к незначительному увеличению ингибиторных свойств моющего раствора Лабомид-203.

Таблица 1 – Влияние концентрациях Лабомид-203 в моющем растворе на коррозионную стойкость вымытых образцов

Концентрация Лабомид-203, %	Промежуток времени до появления признаков коррозии, <i>сутки</i>	
	по образцам	средняя по варианту
0 (контроль)	3; 3; 2; 3; 3	2,8
1	5; 6; 6; 6; 6	5,8
2	8; 7; 8; 7; 8	7,6
3	9; 8; 9; 9; 9	8,8
4	9; 10; 8; 8; 10	9,0
5	11; 9; 10; 9; 9	9,6

Представляет определенный интерес изучение влияния способов активации раствора на степень очистки образцов в 3%-м растворе Лабомид-203 при погружной мойке, результаты которой показаны на рис. 6.

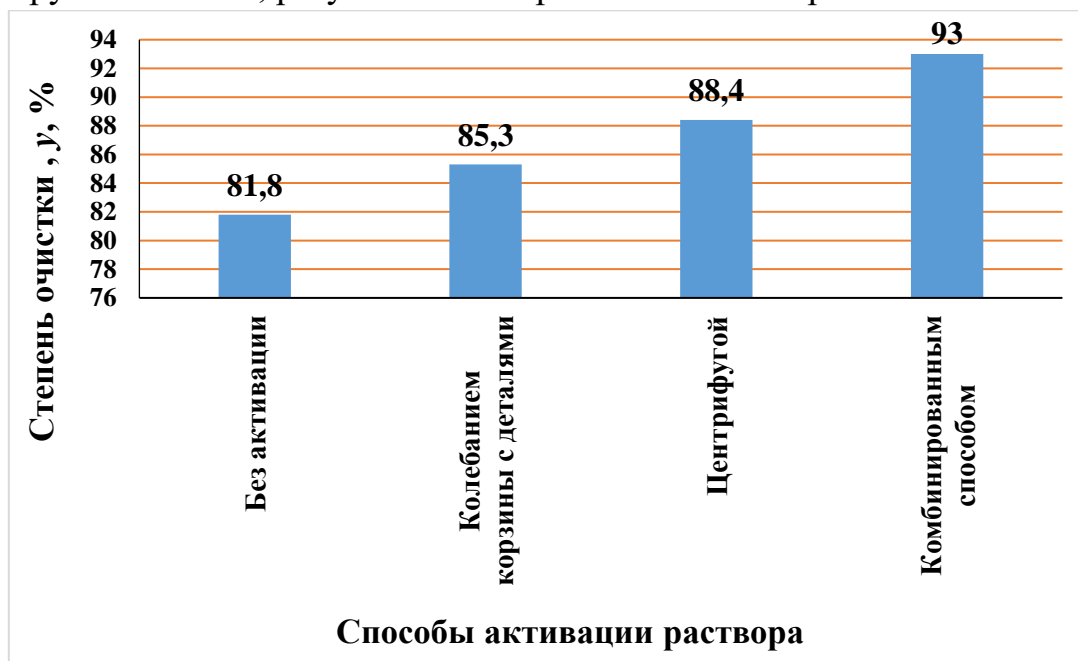


Рисунок 6 – Зависимость степени очистки образцов от способов активации моющего раствора

Анализ рис. 6 позволяет сделать заключение, что активация моющего раствора оказывает значительное влияние на степень очистки образцов. Наиболее эффективным из рассмотренных способов активации является комбинированный способ (комбинация активации колебанием корзины и центрифугой одновременно), которая обеспечивает повышение степени очистки образцов до 93,0% (на 14%), а без активации этого же раствора – 81,8%.

Одним из основных способов улучшения противокоррозионных и

моющих свойств растворов СМС является использование специальных добавок. Бораты щелочных металлов проявляют моющие свойства в водных средах и являются экологически безвредными ингибиторными добавками, что послужило основанием для изучения МБК как добавки, повышающей эффективность 3%-го раствора Лабомид-203. Согласно программе исследований, обоснована рациональная концентрация МБК в растворе (рис. 7).

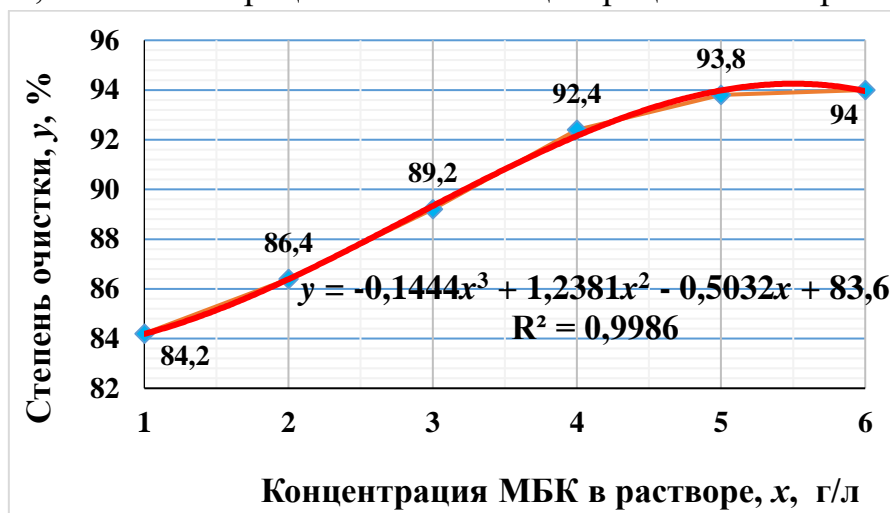


Рисунок 7 – Зависимость степени очистки образцов (у, %) от концентрации МБК (х, %) в 3%-м растворе Лабомид-203

Исследования, проведенные для изучения стойкости вымытых в многокомпонентном растворе образцов к коррозии, позволили получить следующие результаты (табл. 2).

Таблица 2 – Результаты исследования коррозионной стойкости образцов из стали Ст40Х после мойки в 3%-м растворе Лабомид-203 в смеси с МБК при различной концентрации последнего

Концентрация МБК в 3%-м растворе Лабомид-203, г/л	Продолжительность времени до появления первых очагов коррозии, <i>сутки</i>	
	по образцам	средняя по варианту
0 (контроль)	7; 9; 9; 10; 9	8,8
1	9; 11; 10; 10; 11	10,2
2	12; 13; 13; 12; 12	12,4
3	14; 16; 15; 14; 14	14,6
4	17; 16; 18; 16; 17	16,8
5	19; 18; 17; 18; 19	18,2
6	18; 19; 19; 17; 19	18,4

МБК обладает значительным ингибирующим действием на изделия из стали Ст40Х в водном растворе. Повышение концентрации МБК до 5 г/л приводит к увеличению ингибиторных свойств 3%-го раствора Лабомид-203 более чем в 2 раза.

В соответствии с программой исследований изучено влияние МБК и комбинированной активации раствора на продолжительность мойки деталей,

Для этого проведена серия экспериментов по исследованию зависимости степени очистки образцов (y , %) от продолжительности мойки (x , мин) и от температуры моющего раствора (x , °C) в 3%-м растворе Лабомид-203 с добавкой МБК концентрацией 5 г/л при комбинированной активации раствора, получены уравнения регрессии данных зависимостей $y = 8,86x + 23,14$ и $y = -3,4333x^3 + 29x^2 - 50,767x + 41,38$ соответственно, приравняв которые 80%-й степени очистки, определены искомые значения продолжительности мойки 6 минут и температуры моющего раствора 64 °C . Следовательно, добавка МБК концентрацией 5 г/л в 3%-й раствор Лабомид-203 и активация раствора комбинированным способом сокращают продолжительность погружной мойки деталей на 3 минуты и температуру моющего раствора на 16 °C.

Методом проведения четырехфакторного эксперимента плана $N = 2^4$ определено влияние параметров (x_1 – концентрация Лабомид-203; x_2 – концентрация МБК; x_3 – температура моющего раствора; x_4 – продолжительность мойки) и их сочетаний на степень очистки при погружной мойке деталей.

Получено уравнение регрессии:

$$y = 8,96 + 30,06 x_1 + 14,9 x_2 + 27,91 x_3 + 8,63 x_4 + 12,41 x_1x_2 + 93,56 x_1x_3 - 4,77 x_1x_4 - 9,37 x_2x_4 + 94,27 x_1x_2x_3 + 29,45 x_1x_2x_4 + 17,91 x_1x_3x_4 - 1,85x_2x_3x_4 + 53,71 x_1x_2x_3x_4,$$

анализ которого проводили по значениям и знакам коэффициентов.

На рис. 8 приведено влияние отдельных параметров погружной мойки и их сочетаний на повышение степени очистки деталей.

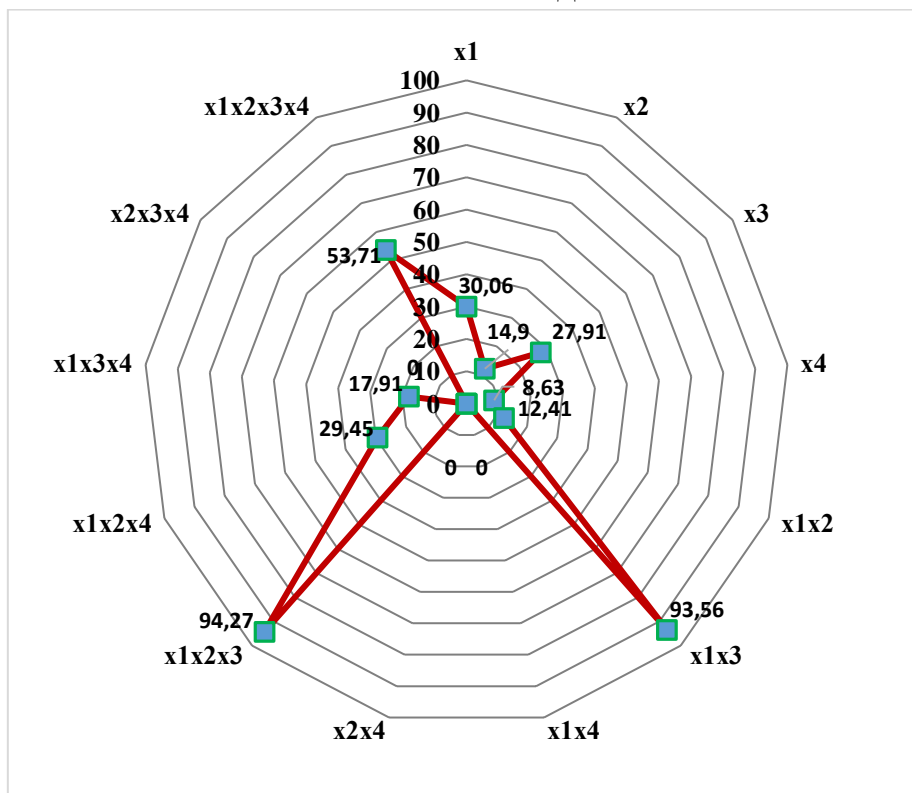


Рисунок 8 – Влияние отдельных параметров погружной мойки и их сочетаний на повышение степени очистки деталей

Из рис. 8 видно, что на степень очистки образцов из всех изученных параметров погружной мойки в большей степени влияют концентрация Лабомид-203 и его температура.

В пятой главе «Производственные испытания результатов исследования и расчет экономического эффекта» приведены методика и результаты производственной проверки в условиях ООО «СПК Новоселки» Рыбновского района Рязанской области усовершенствованной технологии погружной мойки деталей агрегатов автотракторной техники использованием разработанных эффективных моющего раствора и способа его активации.

На основе анализа имеющейся информации в качестве объектов для подконтрольной мойки приняты детали двигателя, КПП, ведущего моста автотракторной техники.

При расчете экономического эффекта от внедрения результатов исследования в качестве базы сравнения принимаем мойку деталей в 3%-м растворе Лабомид-203, эффект которого рассматриваем равным нулю.

Экономический эффект (руб.) от применения МБК концентрацией 5 г/л в составе 3%-го раствора Лабомид-203 и комбинированной активации раствора по отношению к мойке в 3%-м растворе Лабомид-203 без МБК и активации раствора определяется по выражению:

$$\mathcal{E}_{\text{общ.}} = \mathcal{E}_{\text{рем.}} + C_t + C_\tau - C_{\text{ПБА}}^1,$$

где $\mathcal{E}_{\text{рем.}}$ – экономический эффект от снижения стоимости ремонта агрегата, руб.;

C_t – стоимость снижения энергозатрат на обеспечение требуемой температуры раствора, руб.;

C_τ – стоимость снижения энергозатрат на обеспечение требуемой продолжительности мойки, руб.;

$C_{\text{ПБА}}^1$ – стоимость МБК на мойку одной партии деталей, руб.

Общий экономический эффект от внедрения результатов исследования составил:

$$\mathcal{E}_{\text{общ.}} = 1206 \text{ рублей.}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Определены резервы повышения эффективности погружной мойки деталей при ремонте агрегатов автотракторной техники за счет обоснованного подбора значений переменных параметров технологического процесса мойки.

2. Улучшены моющие и противокоррозионные свойства моющего раствора введением специальной добавки и использованием активации раствора.

3. Доказано, что добавка МБК концентрацией 5 г/л в 3%-й раствор Лабомид-203 повышает степень очистки деталей до 93,8% и коррозионную стойкость вымытых деталей до 18,2 суток.

Наиболее эффективным способом активации 3%-го раствора Лабомид-203 является комбинированный способ, что подтверждается значениями

степеней очистки, определенных при мойке тремя способами активации: 93% – комбинированным, 88,4% – центрифугой и 85,3% – колебанием корзины с деталями. Применение комбинированного способа активации 3%-го раствора Лабомид-203 с добавкой МБК концентрацией 5 г/л повышает степень очистки деталей до 97,5%.

4. Получено математическое описание зависимости степени очистки деталей от отдельных параметров процесса мойки и их сочетаний, использование которого позволяет обоснованно подбирать значения параметров для получения требуемой степени очистки деталей.

5. Результаты исследования внедрены в ООО «СПК Новоселки» Рязанской области. Экономический эффект от внедрения результатов исследования составил 1206 рублей на ремонт одного агрегата (двигателя).

Рекомендации производству. Для улучшения экологических показателей процесса мойки деталей, условий труда работников, снижения материальных и трудовых затрат при ремонте агрегатов автотракторной техники рекомендуется добавлять МБК концентрацией 5 г/л в 3%-й раствор Лабомид-203 и использовать комбинированный способ активации моющего раствора.

Перспективы дальнейшей разработки темы. Необходимо расширить и углубить дальнейшие исследования в данном направлении, изучить влияние боратов других щелочных металлов на свойства СМС с целью повышения эффективности процесса мойки деталей.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

В рецензируемых изданиях из списка ВАК РФ:

1. Зюба В.В. Влияние продолжительности струйной мойки на степень очистки деталей / И.В. Фадеев, И.А. Успенский, В.П. Воронов, В.В. Зюба, Н.И. Хайлов, И.К. Данилов // Техника и оборудование для села. – 2022. – № 8 (302). – С. 28-30.

2. Зюба В.В. Повышение коррозионной стойкости внутренних поверхностей топливных цистерн при очистке / А.В. Шемякин, И.В. Фадеев, И.А. Успенский, Е.И. Степанова, В.В. Зюба // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2023. – Т. 15. – № 1. – С. 182-190.

3. Зюба В.В. Влияние активации раствора колебанием корзины с деталями в моющей установке на степень очистки деталей / А.В. Шемякин, И.В. Фадеев, И.А. Юхин, Е.И. Степанова, В.В. Зюба // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2023. – Т. 15. – № 1. – С. 175-181.

*Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная
Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ №1642 подписано в печать 21.03.2025 г.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования*

*«Рязанский государственный агротехнологический университет имени
П.А. Костычева»*

390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1

*Отпечатано в издательстве учебной литературы и учебно-методических пособий ФГБОУ
ВО РГАТУ*

390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1