

На правах рукописи



ФАДЕЕВ ИВАН ВАСИЛЬЕВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЦЕССА МОЙКИ ПРИ РЕМОНТЕ АВТОМОБИЛЕЙ В
СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

Специальность 05.20.03 - Технологии и средства технического обслуживания
в сельском хозяйстве

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Рязань – 2019

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

Научный консультант:	доктор технических наук, профессор Бышов Николай Владимирович
Официальные оппоненты	Загородских Борис Павлович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова», научный сотрудник отдела учебно-научного обеспечения Серпокрылов Николай Сергеевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», профессор кафедры «Водоснабжение и водоотведение» Юдин Владимир Михайлович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный заочный университет», профессор кафедры эксплуатации и технического сервиса машин
Ведущая организация:	ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»

Защита состоится «24» декабря 2019 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.057.03, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева» по адресу: 390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1, зал заседаний диссертационного совета.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО РГАТУ, на сайте университета: www.rgatu.ru и на сайте Высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации www.vak.minobrnauki.gov.ru

Автореферат разослан «___» октября 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, доцент



Юхин Иван Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Для поддержания мобильной техники в работоспособном состоянии и восстановления ее технических характеристик, предупреждения прогрессирующего износа сопряжений проводят ремонт – комплекс технических операций и организационных действий по восстановлению исправного или работоспособного состояния и восстановлению ресурса мобильной техники или ее составных частей.

Технологические процессы ремонта машин предусматривают наружную мойку снятых агрегатов и мойку отдельных деталей после разборки с использованием синтетических моющих средств (СМС). Мойка и очистка загрязненных поверхностей агрегатов, узлов и деталей являются одной из наиболее непривлекательной частью технологических процессов ремонта. Выпускаемые промышленностью и используемые в настоящее время в ремонтном производстве на сельскохозяйственных и транспортных предприятиях СМС имеют низкие моющие и противокоррозионные свойства, а также отрицательно влияют на здоровье работников и окружающую среду, так как в своем составе они содержат токсичные вещества, например, хроматы, добавляемые для улучшения их ингибиторных свойств.

Неэффективный технологический процесс мойки снижает качество ремонта, ресурс отремонтированных машин и их агрегатов на 20-50%, производительность труда – до 8%, вызывает неоправданные трудовые и материальные затраты и отрицательно воздействует на здоровье работников, окружающую среду.

В связи с этим совершенствование технологического процесса мойки и повышение его эффективности является **актуальной** и значимой научно-технической проблемой, имеющей важное значение для сельского хозяйства и экономики страны.

Научная гипотеза. Эффективность технологического процесса мойки при ремонте автомобилей может быть повышена путем оптимизации его параметров (продолжительности процесса, температуры моющего раствора и его состава по наличию СМС, нетоксичных активизирующих добавок и их концентрации), что обеспечит максимальное качество очистки и повышение противокоррозионной защиты агрегатов, узлов и деталей мобильной техники при снижении материальных и трудовых затрат.

Степень разработанности темы исследования. Одним из основных факторов загрязнения машин, их агрегатов, узлов и деталей является пленка влаги, постепенно адсорбируемой из воздуха при сравнительно высокой относительной влажности воздуха, в сочетании с механическими и химическими (сернистый газ, двуокись азота, фенол, формальдегид, растворимые сульфаты, окись азота, хлор и др.) примесями. Загрязнения, в большинстве случаев их смеси, осаждаются и на наружных, и на внутренних поверхностях изделий, провоцируя процессы коррозии и снижая ресурс машин и их агрегатов.

Вопросам совершенствования процессов очистки и мойки, а также защиты от коррозии деталей, узлов и агрегатов мобильной техники

значительное внимание уделяли и уделяют российские и зарубежные ученые Н.В. Бышов, Л.М. Гуревич, Б.П. Загородских, В.И. Карагодин, М.Б. Латышенко, Б.Б. Нефедов, В.М. Приходько, Н.С. Серпокрылов, Н.Ф. Тельнов, А.В. Шемякин, В.М. Юдин, K.S. Rojagoplan, L. Yang и многие другие, так как решение этих вопросов позволяет существенно увеличить ресурс и сохраняемость машин.

В данной работе впервые сделана попытка объединения этих двух направлений: повышения моющих и противокоррозионных свойств растворов и проведения комплексного исследования, так как при мойке и очистке машин и их агрегатов нельзя исключать вопросы коррозии и защиты от коррозии, и наоборот.

Как следует из вышеизложенного, решение проблемы повышения эффективности технологического процесса мойки при ремонте узлов и агрегатов мобильной техники в первую очередь связано с применением научно-обоснованных параметров разрабатываемого технологического процесса мойки, которое способствует повышению производительности труда, экологичности процесса мойки, качества дефектовочных работ, коррозионной стойкости деталей, сроков их службы, улучшению условий труда, моющих и ингибиторных свойств растворов СМС, что обеспечивает экономию трудовых и материальных затрат в ремонтном производстве.

Цель исследования – повышение эффективности технологического процесса мойки при ремонте автомобилей в сельском хозяйстве.

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

1. Выявить резервы повышения эффективности технологического процесса мойки для снижения материальных и трудовых затрат при ремонте автомобилей.

2. Сформировать концепцию оптимизации технологического процесса мойки, обосновать параметры оптимизации, выявить влияющие на них факторы и разработать методы оптимизации.

3. Реализовать комплексный подход к исследованиям технологического процесса мойки мобильной техники и ее составных частей при одновременном учете необходимости тщательной мойки поверхностей перед ремонтом и надежной защиты от коррозии.

4. Провести экспериментальные исследования по выявлению зависимостей параметров оптимизации технологического процесса мойки от влияющих на них факторов, установить закономерности изменения моющих и противокоррозионных свойств СМС и специальных добавок в растворы. Экспериментально обосновать области оптимальных значений факторов технологического процесса мойки.

5. Провести производственную проверку полученных результатов и рассчитать экономическую эффективность результатов исследования.

Объект исследования: технологический процесс мойки при ремонте узлов и агрегатов мобильной техники.

Предмет исследования. Параметры технологического процесса мойки деталей узлов и агрегатов мобильной техники (продолжительность процесса,

температура моющего раствора и его состав по наличию СМС, добавок и их концентраций) в связи с характеристиками и свойствами очищаемых поверхностей деталей и их загрязнений, эффективностью СМС и добавок к ним.

Научная новизна работы:

- сформирована новая концепция оптимизации технологического процесса мойки мобильной техники и ее составных частей при одновременном учете двух параметров оптимизации: степени очистки и коррозионной стойкости поверхностей деталей с целью снижения материальных и трудовых затрат при ремонте мобильной техники;

- экспериментально доказана целесообразность использования в качестве добавок в моющие составы соединений бора (боратов), которые по степени опасности относятся к 4-му классу, в отличие от применяемых хроматов, относящихся ко 2-му классу;

- получены зависимости степени очистки, скорости коррозии, ингибиторного эффекта и степени защиты стали в различных моющих растворах от продолжительности мойки, температуры моющего раствора и концентраций СМС и используемых добавок;

- в результате решения двухкритериальной задачи обоснованы параметры технологического процесса мойки, обеспечивающие степень очистки поверхностей деталей до 97,9% и коррозионную стойкость (продолжительность времени до появления первых очагов коррозии на поверхности вымытых деталей) до 22 суток;

- экспериментально доказано влияние параметров технологического процесса мойки на качество очистки и противокоррозионную стойкость агрегатов, узлов и деталей мобильной техники.

Теоретическая и практическая значимости работы. Теоретическая значимость работы заключается в том, что в результате теоретических и экспериментальных исследований: выявлены зависимости параметров оптимизации технологического процесса мойки от влияющих на них факторов; установлены закономерности изменения моющих и противокоррозионных свойств растворов СМС и специальных добавок в растворы; обоснованы области оптимальных значений факторов технологического процесса мойки; доказана целесообразность использования в качестве добавок для повышения моющих и противокоррозионных свойств растворов соединений бора (боратов).

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты экспериментальных исследований, расчетов, их обсуждений, разработанные математические модели, выводы были использованы при разработке моющих и противокоррозионных средств, внедренных в производство в ГУП ЧР «Чувашавтотранс» Министерства транспорта и дорожного хозяйства Чувашской Республики (ЧР), ООО «Чебоксары-Лада», ООО «Альянс Ко», СХПК – колхоз им. Ленина Чебоксарского района ЧР, ООО «АвтоБосс». Результаты исследования предлагаются к использованию в сельском хозяйстве и транспортной отрасли при организации технологических

процессов ремонта узлов и агрегатов мобильной техники, а также в учебных процессах ВУЗов, СУЗов.

По результатам теоретических и экспериментальных исследований получены патенты РФ № 2572125, № 2614504, № 2620593, № 2629023.

Реализация результатов исследований. Предложенный автором способ повышения эффективности технологического процесса мойки узлов, агрегатов и деталей при ремонте автомобилей путем обоснования его структуры и параметров используются в ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева», ФГБОУ ВО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия», ГАПОУ «Чебоксарский техникум ТрансСтройТех Минобразования Чувашии».

Разработанные моющие и противокоррозионные средства, внедрены в производство в нескольких сельскохозяйственных предприятиях и организациях Чувашской Республики.

Методология и методы исследований. Исследования проводились на основе применения методов физико-химического, корреляционного и регрессионного анализа, математического моделирования, теории планирования экспериментов, теории вероятностей и математической статистики.

В лабораторных и производственных условиях исследования проводились по частным разработанным методикам, в основу которых положены нормативно-технические документы. Моющая способность растворов СМС, изменение усталостной прочности стали определялись на оригинальных лабораторных установках. Коррозионные потери образцов металла, моющие свойства и смачиваемость составов исследовались гравиметрическим, электрохимическим и потенциодинамическим методами в растворе хлористого натрия и растворах СМС без и с добавкой соединений бора в качестве ингибиторов коррозии и активаторов моющих свойств растворов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Концепция оптимизации технологического процесса мойки, основанная на комплексном подходе к исследованиям технологического процесса мойки машин и их составных частей при одновременном учете двух параметров оптимизации: степени очистки и коррозионной стойкости поверхностей деталей перед ремонтом.

2. Метод снижения энергозатрат на поддержание оптимальной температуры моющего раствора.

3. Зависимости степени очистки, скорости коррозии, ингибиторного эффекта и степени защиты стали в различных моющих растворах от продолжительности мойки, температуры моющего раствора, концентраций СМС и используемых добавок.

4. Результаты решения двухкритериальной задачи по обоснованию параметров технологических процессов мойки: продолжительности мойки, температуры моющего раствора и концентраций СМС и используемых добавок.

5. Закономерности влияния параметров технологического процесса мойки на его эффективность.

Степень достоверности результатов исследования. Проведение лабораторных и производственных экспериментальных исследований с применением современных методов моделирования, средств измерений и методов обработки данных позволило получить обоснованные, достоверные и соответствующие теме диссертации результаты исследования и общие выводы.

Апробация результатов исследования. Основное содержание диссертационной работы излагалось, обсуждалось и было одобрено на научно-практических конференциях *международных*: «Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств» (г. Владимир, ВлГУ им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, 2014 г.), «Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире» (г. Санкт-Петербург, 2015 г.), МЦИИ ОМЕГА САЙНС (г. Сызрань, 2016 г.), «Проблемы эксплуатации автомобильного транспорта и пути их решения на основе современных информационно-коммуникационных и энергосберегающих технологий» (г. Воронеж, ВГАУ им. императора Петра I, 2016 г.), «Современные технологии в машиностроении и литейном производстве» (г. Чебоксары, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2018 г.), *всероссийских*: «Повышение эффективности механизации сельскохозяйственного производства» (г. Чебоксары, ЧГСХА, 2011 г.), «Наука, производство, образование: состояние и направления развития» (г. Чебоксары, ЧГПУ им. И.Я. Яковлева, 2012, 2017, 2019 гг.), «Транспортные системы Сибири: проблемы безопасности» (г. Красноярск, СФУ, 2013 г., с международным участием), «Перспективы развития технического сервиса в агропромышленном комплексе» (г. Чебоксары, ЧГСХА, 2014 г.), «Современное состояние прикладной науки в области механики и энергетики» (г. Чебоксары, ЧГСХА, 2016 г.), «Проектирование и перспективные технологии в машиностроении, металлургии и их кадровое обеспечение» (г. Чебоксары, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2017 г.), *межрегиональных*: «Дорожно-транспортный комплекс: состояние, проблемы и перспективы развития» (г. Чебоксары, Волжский филиал МАДИ, 2011-2018 гг.), *научно-методической и научно-исследовательской*: «Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта» (г. Москва, МАДИ, 2015-2018 гг.), *научно-технической конференции имени Н.В. Попова*: «Техника, дороги и технологии: перспективы развития», (г. Чебоксары, Волжский филиал МАДИ, 2013-2017 гг.).

Личный вклад соискателя. Разработаны лично соискателем: методы повышения эффективности технологического процесса мойки при ремонте, моющих и противокоррозионных свойств растворов СМС. Автором выполнены работы по планированию и проведению экспериментов исследования, статистической обработке и анализу полученных результатов, разработке рекомендаций для сельскохозяйственных предприятий, а также предприятий, эксплуатирующих, ремонтирующих и обслуживающих мобильную технику, применяющих в ремонтном производстве моющие средства.

Публикации. Основное содержание диссертации отражено автором в 45 печатных работах, в том числе: в 3-х статьях в изданиях Scopus и Web of Science, 21 статье в изданиях, рекомендованных ВАК, 4-х научных монографиях, 4-х патентах РФ на изобретение. Объем публикаций составляет 58,68 усл. п. л., в т.ч. авторская доля – 49,42 усл. п. л.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, библиографического списка, включающего 342 наименования, в том числе 16 на иностранных языках и 4-х приложений на 54 страницах. Работа изложена на 395 страницах, включает 92 таблицы и 85 рисунков.

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 «Современное состояние проблемы и задачи исследования» обоснована необходимость мойки и очистки узлов, агрегатов и деталей в технологических процессах ТО и ремонта мобильной техники, выявлены основные факторы, вызывающие загрязнение поверхностей деталей машин, описано влияние условий эксплуатации на работу узлов и агрегатов, приведена классификация загрязнений, выполнен анализ способов, методов и средств мойки узлов, агрегатов и деталей мобильной техники в технологических процессах ремонта, рассмотрены их преимущества и недостатки, представлены краткие характеристики наиболее используемых для этих целей СМС, оборудования и описан технологический процесс мойки узлов, агрегатов и деталей мобильной техники.

В технологических процессах ремонта мобильной техники трудоемкость мойки и очистки составляет около 10% от общей трудоемкости. На сооружение изолированных помещений, цехов для выполнения моечных и очистных работ, на очистные сооружения, сливные магистрали и оборудование приходится 20% от капитальных затрат на функционирование предприятия. На мойку ежегодно расходуются десятки тысяч тонн моющих средств, задействованы огромные людские ресурсы. В моечных и очистных работах занято 4% ремонтно-обслуживающего персонала предприятий и именно эти работы вносят основной вклад в негативное влияние ремонтного производства сельскохозяйственных и автотранспортных предприятий на окружающую среду и здоровье работников.

Отсюда вытекает необходимость совершенствования технологического процесса мойки для повышения качества работ, производительности труда, снижения вредного воздействия на окружающую среду и здоровье работников, а также снижения объема ручного труда, характеризуемого повышенной загрязненностью, сыростью, некомфортностью рабочего места.

Качественная очистка поверхности деталей от всех загрязнений повышает качество дефектовочных работ, увеличивает срок службы деталей,

производительность труда и качество ремонта. Только повышением степени очистки поверхности ремонтируемых объектов можно на 20-30% повысить их ресурс и на 8% поднять производительность труда на ремонтных работах.

В процессе эксплуатации мобильной техники поверхности его узлов, агрегатов и деталей загрязняются. Основными факторами, вызывающими загрязнение мобильной техники, являются: повышенная относительная влажность воздуха, способствующая появлению конденсата, который, взаимодействуя с механическими и химическими примесями атмосферы, загрязняет поверхности машин и активизирует процессы коррозии; использования воды, не соответствующей по качеству требованиям системы охлаждения, что приводит к образованию накипи и шлама, загрязнению внутренних стенок элементов системы охлаждения и возникновению на них очагов коррозии; продукты окисления, разложения и неполного сгорания моторного масла и топлива (нагар, зольные отложения); загрязнения поверхности дорог; продукты коррозии самих деталей.

Изученные по литературным источникам классификации загрязнений не в полной мере раскрывают причины их возникновения, особенности выбора способов и средств мойки деталей и агрегатов при проведении технологических процессов ТО и ремонта мобильной техники. В связи с этим и на основе анализа ряда исследований физико-механических свойств загрязнений и способов мойки поверхностей деталей в диссертации разработаны более подробные классификационные схемы, обеспечивающие возможность мойки деталей с применением специальных моющих растворов с учетом смачиваемости (рис. 1) и источника образования загрязнений (рис. 2).



Рисунок 1 – Классификация загрязнений по их смачиваемости

К основным способам очистки поверхностей относится способ удаления загрязнений воздействием струи, который включает водоструйную (гидродинамическую), гидроабразивную, пескоструйную очистку и очистку косточковой крошкой.

Водоструйную мойку применяют для удаления с наружных поверхностей деталей загрязнений при содержании в них не более 35% масла.

Гидроабразивный способ мойки характеризуется присутствием в моющей жидкости абразивных частиц, которые в струе жидкости с высокой скоростью выбрасываются на поверхность, повышая качество и эффективность мойки.

Пескоструйная обработка – холодная абразивная обработка металлической поверхности песком или иным абразивным порошком, распыляемым потоком воздуха, а при гидроабразивной обработке – струей воды или иной жидкости.

Очистка косточковой крошкой выполняется аппаратами пескоструйного типа для удаления с поверхностей деталей прочных загрязнений (нагара, накали и лаковых отложений). Частицы крошки подаются на очищаемую поверхность со струей сжатого воздуха при скорости 30-50 м/с, достаточно легко разрушают когезионные и адгезионные связи загрязнений, не повреждая поверхность детали.

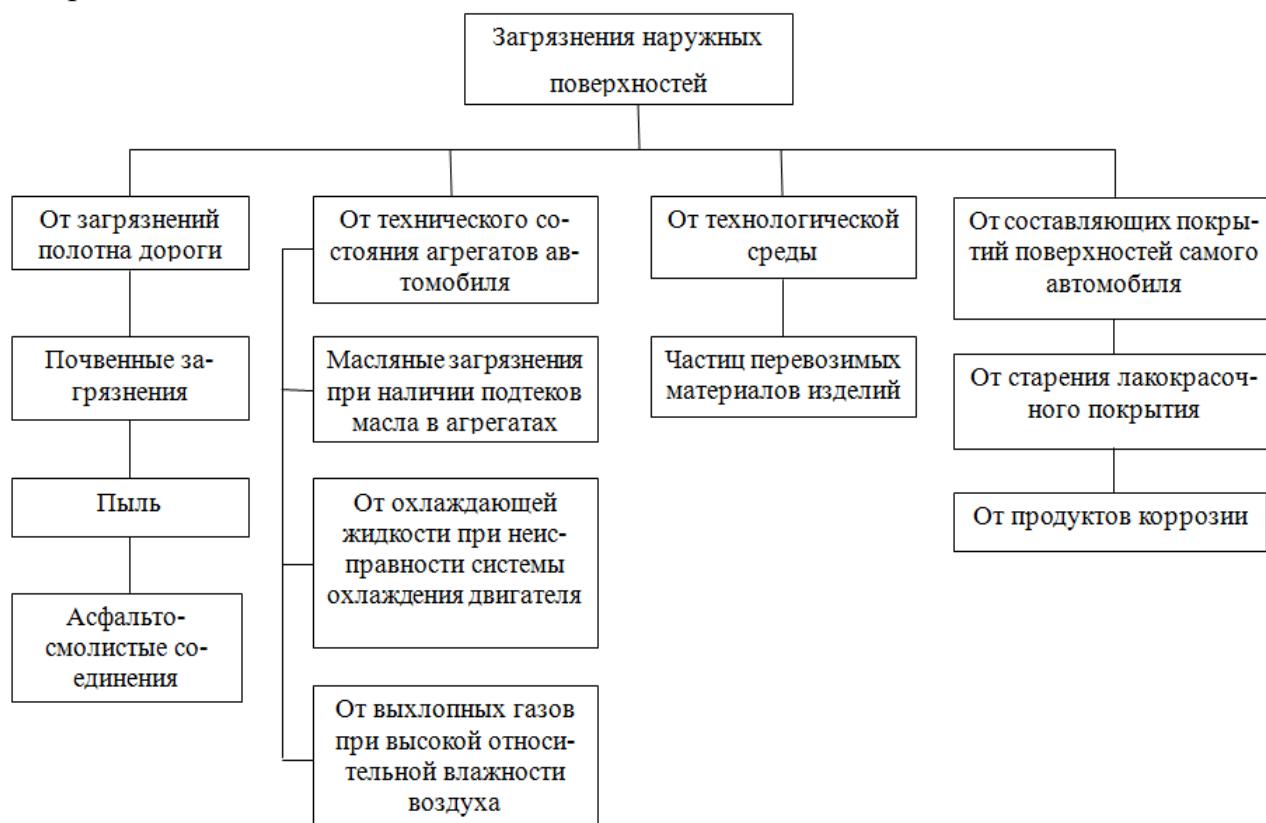


Рисунок 2 – Классификация загрязнений наружных поверхностей машин

В ремонтном производстве сельскохозяйственных и транспортных предприятий используются различные схемы технологического процесса мойки агрегатов, узлов и деталей, обусловленные программой предприятия, наличием производственных площадей и моечного оборудования: струйная мойка водой (непрерывной и пульсирующей струей, пароводоструйная), мойка в моечных

камерах (с вибрацией и без вибрации детали, струйное воздействие на детали, расположенные на вращающемся столе), мойка погружением в ванну (с интенсификацией процесса – возбуждение жидкости, электрический ток, ультразвук, с органическими растворителями или моющими растворами – отмочка или выварка). Эффективность мойки деталей зависит от типа моечных установок: струйные (с выдвижной платформой, с откидной крышкой, тоннельные, погружные), моечные камеры (малогабаритные струйно-мониторные установки, механизированные моечные машины), погружные (гидрокинетические – с воздействием ультразвука и барботаж, с моечной платформой – с воздействием ультразвука, барботаж, подводной струи), с установкой электрического разряда, виброабразивные, с покачивающейся платформой.

В струйных моечных установках поверхности очищаемых объектов подвергаются орошению большим количеством моющего раствора под давлением из сопел душевого устройства.

Погружные струйные моечные установки удаляют грязь с погруженной в моющий раствор детали. При этом смывающие струи подаются из погруженных в раствор форсунок. Во время мойки деталь вращается вокруг своей оси.

Очистка деталей от продуктов коррозии, нагара, накипи и других стойких загрязнений может производиться химическим, механическим, термохимическим и комбинированным способами.

При химическом способе очистки деталей от нагара используют растворы с высоким содержанием щелочи.

Механический способ очистки заключается в удалении загрязнения твердой очистной средой (косточковой или пластмассовой крошкой, металлической дробью, стеклянными шариками, углекислотными гранулами сухого льда, гидроабразивной струей и т.д.).

Термохимическое удаление нагара проводится в расплаве солей (65% едкого натра, 30% азотнокислого натрия и 5% хлористого натрия) при температуре $400 \pm 20^\circ\text{C}$.

Для повышения качества очистки деталей двигателей перед их ремонтом также перспективно использование ледно-кавитационной струи.

Проведенный анализ позволяет констатировать, что самыми перспективными и используемыми из имеющихся в настоящее время технологий мойки являются технологии с применением струи воды высокого давления. В последние годы повышение эффективности очистки изделий технологией струйной очистки осуществляется увеличением кинетической энергии струи при повышении давления жидкости или подачей в струю абразивного материала.

В настоящее время в связи с возросшими требованиями к охране окружающей среды резко вырос интерес к применению в ремонтном производстве водорастворимых негорючих синтетических моющих средств (СМС), действие которых основано на растворении, адсорбции, эмульгировании, диспергировании загрязнений и других процессах. Известно, что для очистки металлической поверхности от загрязнений в ремонтном производстве на предприятиях агропромышленного и автотранспортного

комплексов применяют такие СМС, как МЛ-51, МС-8, Лабомид-203, к недостаткам которых можно отнести низкую скорость очистки, недостаточные моющие и пассивирующие действия по отношению к очищаемой металлической поверхности, повышенное пенообразование при струйной мойке, плохую очистку от асфальто-смолистых отложений, необходимость поддержания высоких температур моющих композиций и связанные с ней затраты энергии. Основными компонентами моющих средств являются: каустическая сода, кальцинированная сода, жидкое стекло, хромпик, тринатрийфосфат, метасиликат натрия.

Растворы каустической соды токсичны, имеют низкую моющую способность, коррозионно-агрессивны. В связи с высокой коррозионной агрессивностью их нельзя использовать для мойки деталей из сплавов алюминия.

Хромпик – высокотоксичное вещество, способное разрушить кожные покровы, дыхательные пути, хрящевые ткани, канцерогенен, поэтому при работе с хромпиком важно применять защиту органов дыхания, кожи.

Для снижения коррозионной активности СМС, содержащих щелочи, кислоты или их соли, к ним добавляют ингибиторы коррозии, в основном, соединения хрома, защитное действие которых основано на образовании защитной пленки на поверхности защищаемого металла в результате химической реакции ингибитора с металлом и коррозионной средой. Хроматы – токсичны, опасны для здоровья человека и окружающей среды. В связи с этим токсичные хроматы желательно заменить нетоксичными ингибиторами коррозии и при разработке рецептур СМС следует применять системно-организованный подход, учитывая экологичность получаемых составов.

Во второй главе «Теоретические исследования оптимизации параметров технологического процесса мойки при ремонте мобильной техники» проведены теоретические исследования оптимизации параметров технологического процесса мойки при ремонте мобильной техники.

Действующим Положением о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта предусмотрено корректирование нормативов технической эксплуатации в зависимости от ряда действующих факторов. Коэффициент корректирования нормативов в зависимости от природно-климатических условий учитывает и агрессивность окружающей среды, к которой относятся загрязнения поверхности автомобильных дорог и воздуха атмосферы различными химическими веществами и соединениями, а также пылью и частицами почвы.

Как показали результаты наших исследований, наибольшую концентрацию из всех составляющих загрязнения дорожной поверхности имеют, мг-экв/л: хлориды (x_1) 22,00-26,00, аммиак (x_2) 0,25-0,55, нитраты (x_3) 5,00-7,00, сульфаты (x_4) 5,18-5,82 и их концентрация даже в пределах одного региона не одинакова. Она зависит от множества факторов, одним из которых является рельеф местности: в низменных местах концентрация выше, так как загрязнения вместе с талой водой стекают и концентрируются именно в низменных местах. Концентрация компонентов загрязнений на городских

дорогах выше, чем на автомагистрали М7, что определяется загрязненностью атмосферы городов и количеством рассеиваемых противогололедных реагентов.

Используя многофакторный эксперимент плана $N = 2^4$ на двух уровнях, проведены исследования влияния компонентов загрязнения поверхности автомобильных дорог на коррозию кузова автомобиля с получением его математической модели: $y = 1072,58 + 209x_1 + 65,75x_4 + 55x_1x_4 - 30,87x_2x_3 - 33,62x_2x_4 + 30,37x_1x_2x_3 + 32,1x_1x_2x_4 + 50x_1x_3x_4 - 27,63x_2x_3x_4 + 31,1x_1x_2x_3x_4$, из которого следует, что наибольшее ускоряющее влияние на коррозию оказывают хлориды и сульфаты, аммиак обладает ингибиторными свойствами, а нитраты не оказывают существенного влияния на коррозию кузова.

Исследование содержания пыли в воздухе на автомагистрали М-7 «Москва-Уфа» и в г. Чебоксары подтвердило существенное различие условий эксплуатации мобильной техники на территории ЧР (табл. 1).

Таблица 1 – Содержание пыли в воздухе в исследованных зонах

Место отбора проб воздуха	Содержание пыли, г/м ³
г. Чебоксары:	
– район залива	0,05–0,15
– район железнодорожного вокзала	0,20–1,15
Автомагистраль М-7 (676-й км)	1,35–2,15

В основном на нормальную работу ДВС влияют отложения накали, нагара, загрязнений топлива на деталях ГРМ и системы смазки. Несвоевременная и некачественная очистка от загрязнений приводит к повышенному износу деталей и, как следствие, к снижению ресурса ДВС в целом.

В качестве объекта изучения для определения ущерба от снижения ресурса (Y) приняты новые дизельные двигатели Д-240 и Д-240Л.

Ущерб определяется по выражению:

$$Y = (W_n - W_\phi) \cdot C, \quad (1)$$

где W_n – нормативный ресурс дизеля, ч., мото-ч; W_ϕ – фактический ресурс дизеля, не подверженного регулярной мойке и очистке, ч., мото-ч; C – средняя цена одной единицы ресурса дизеля, руб.

По результатам исследований снижение ресурса (ΔW) в расчете на один дизель до его поступления в ремонт составило 33% от нормативного значения.

$$\Delta W = (W_n - W_\phi) = 6000 - (4024 \dots 4330) = 1976 \dots 1670 \text{ мото-ч.}$$

Ущерб от снижения ресурса дизеля в среднем определяется по выражению:

$$Y_{cp} = \frac{1}{3} C_{кр}, \quad (2)$$

где $C_{кр}$ – стоимость капитального ремонта дизельного двигателя, руб.

Анкетирование собственников по вопросам организации эксплуатации, ТО и ремонта машин с двигателями Д-240 и Д-240Л показало, что предприятия слабо оснащены технологическим оборудованием для мойки и очистки машин.

Причинами низкого ресурса мобильной техники и ее агрегатов могут быть некачественная мойка, низкая коррозионная стойкость деталей, узлов и

агрегатов из-за применения моющих растворов с низкими моющими и ингибиторными способностями. Известно, что только за счет неудовлетворительной очистки деталей ресурс отремонтированных агрегатов мобильной техники уменьшается на 20 – 40%, производительность труда – до 8%. Факторы, повышающие ресурс мобильной техники представлены на рис. 3.

Функциональную зависимость ресурса (W) от факторов, влияющих на него, можно записать в виде выражения (3).

$$W = f(K_{MC}; K_{ИС}; K_{Оч}; K_{ДЕФ}; K_{СТ}; K_{РР}; K_{ТОР}), \quad (3)$$

где K_{MC} – коэффициент, учитывающий влияние моющей способности раствора на ресурс; $K_{ИС}$ – коэффициент, учитывающий влияние ингибиторных свойств моющего раствора на ресурс (повышает ресурс и сохраняемость); $K_{Оч}$ – коэффициент, учитывающий качество очистки поверхности деталей (влияет на качество дефектовочных работ); $K_{ДЕФ}$ – коэффициент, учитывающий качество дефектовки (влияет на качество выполнения ТО и ремонта); $K_{СТ}$ – коэффициент, учитывающий коррозионную стойкость очищенных поверхностей; $K_{РР}$ – коэффициент, учитывающий ресурс отдельных деталей; $K_{ТОР}$ – коэффициент, учитывающий качество выполнения ТО и ремонта.

Повышение эффективности и совершенствование технологического процесса мойки отдельных деталей при ремонте за счет использования более эффективных моющих растворов способствует повышению ресурса мобильной техники.

Например, мойка деталей 3%-ми водными растворами СМС с добавкой МБК концентрацией 5 г/л, увеличивает ресурс агрегатов, узлов и деталей более чем на 20%. Это объясняется повышением коррозионной стойкости очищаемых деталей в связи с формированием на их поверхности защитной пленки и степени очистки поверхностей деталей, что обеспечивает высокое качество ремонтных работ.

Технологический процесс отмывания загрязнений представляет собой комплекс параллельно-последовательных физико-химических и физико-механических процессов, в основе которых лежат явления смачивания, адсорбции, диспергирования, в том числе эмульгирования, стабилизации и коагуляции дисперсий, чаще всего гетеро-коагуляции, пептизации, адгезии, набухания, растворения, солюбилизации, пенообразования.

Отмывание загрязнений определяется природой субстрата (очищаемой поверхности), загрязнения (жидкость, твердое тело, растворимые в данной среде или нет), среды, в которой проводится очистка (воздух, вода, неполярная жидкость, смесь жидкостей – эмульсия), моющих средств (ПАВ, активирующие добавки, щелочи, кислоты и т.д.), способом и интенсивностью механического воздействия (перемешивание, пульсация, вибрация, ультразвук и т.д.).

Первой фазой любого процесса отмывания загрязнений является смачивание (вытеснение жидкой фазой другой фазы из твердого или жидкого тела). Чем лучше контакт моющего средства с обмываемой поверхностью, тем при прочих равных условиях сильнее моющее действие и наоборот.



Рисунок 3 – Факторы, повышающие ресурс мобильной техники

В загрязнениях содержатся и гидрофобные частицы, которые не смачиваются водой (частицы нагара, масел, смол, песка и т.п.). Для их смачивания и последующего удаления моющая жидкость должна содержать ПАВ и специальные добавки. Степень очистки загрязненных поверхностей деталей, узлов и агрегатов повышается за счет использования моющих растворов и специальных добавок в их составе с высокими смачивающими свойствами, которые оцениваются краевым углом смачивания θ (угол между касательной, проведенной из точки контакта трех поверхностей (твердой, жидкой и газообразной) к поверхности жидкости, и проекцией этой касательной на поверхность металла, который является мерой относительного притяжения жидкости к твердому телу (адгезия) и к самой себе (когезия)).

Нами множественно-регрессионным анализом исследовано влияние концентраций СМС и добавки МБК на угол смачивания многокомпонентного моющего раствора (рис. 4).

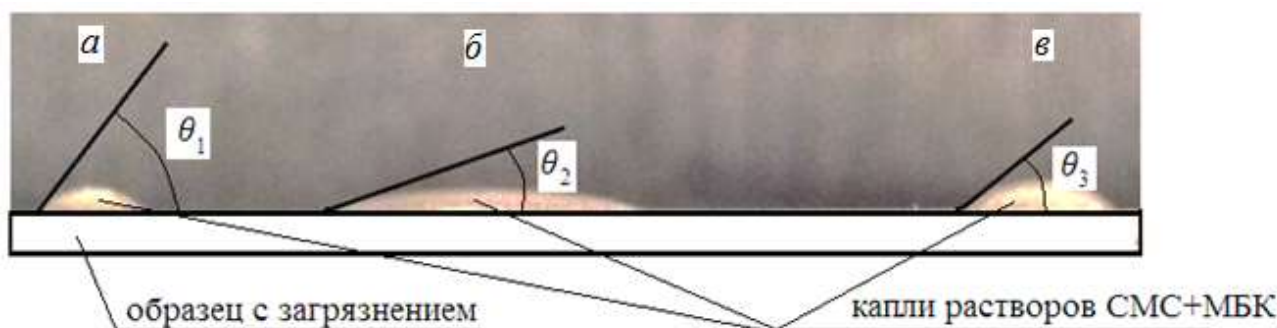


Рисунок 4 – Определение угла смачивания капель раствора СМС с добавкой МБК загрязненной поверхности образца: а – МЛ-51; б – МС-8; в – Лабомид-203

В качестве специальной добавки использован МБК (X_1), а в качестве СМС – Лабомид-203 (X_2), МС-8 (X_3) и МЛ-51 (X_4). Наиболее подходящей в данном случае является мультипликативная функция вида:

$$\theta = A \cdot X_1^\alpha \cdot X_i^\beta, \quad (4)$$

где θ – угол смачивания, град.; X_1 – концентрация МБК, г/л; X_i – концентрации СМС, % (X_2 – Лабомид-203, X_3 – МС-8, X_4 – МЛ-51); A , – неизвестная; α , β – параметры, показывающие процентное изменение угла смачивания, вызванное изменением концентрации соответствующего СМС на один процент.

С коэффициентами детерминации $R^2 > 0,9$ определены зависимости $\theta = 70,23428 X_1^{-0,1681} \cdot X_2^{-0,372253}$, $\theta = 64,8027 X_1^{-0,28602} \cdot X_3^{-0,49342}$, $\theta = 74,4352 X_1^{-0,14296} \cdot X_4^{-0,33504}$. Поскольку $|-0,3722533 - 0,1681| = 0,54035 < 1$, $|-0,49342 - 0,28602| = 0,77944 < 1$, $|-0,33504 - 0,14296| = 0,478 < 1$, то во всех случаях функция показывает убывающую отдачу на уменьшение угла смачивания от увеличения концентрации (рис. 5). Это значит, что их концентрации превысили ту границу, когда они давали возрастающую отдачу.

Также видно, что МБК оказывает наиболее эффективное влияние на угол смачивания в паре с МС-8 (наибольшее уменьшение угла смачивания из всех рассмотренных добавок – 0,28602%), и как следствие, наибольшее

совместное влияние на угол смачивания из рассмотренных комбинаций составов моющих растворов (0,77944%).

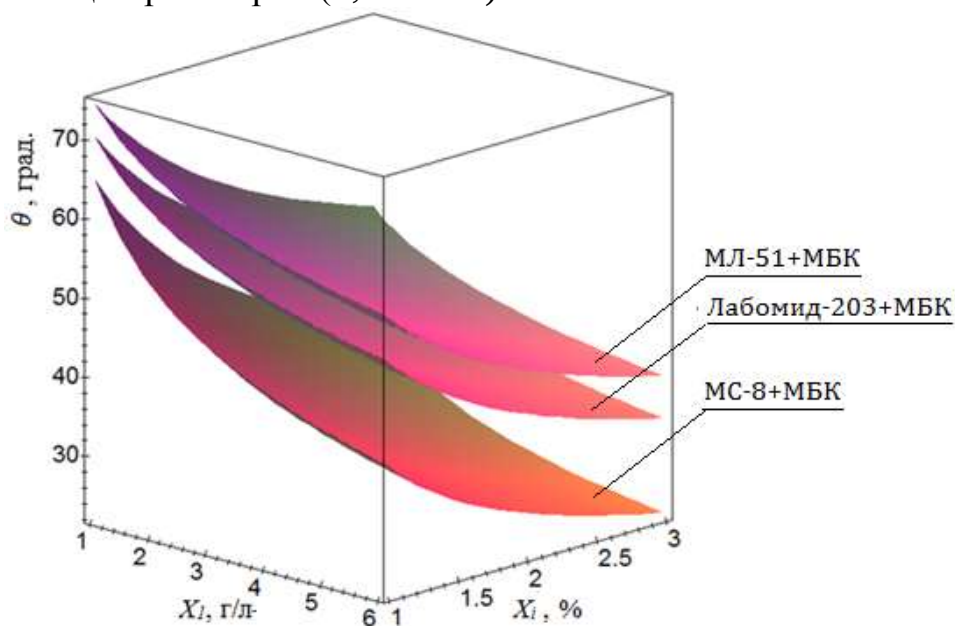


Рисунок 5 – Сводный график зависимости угла смачивания от концентраций СМС и МБК

Основу СМС составляют ПАВ и ряд щелочных солей. Молекулы ПАВ способны ориентироваться в воде: полярная «головка» (ее называют гидрофильной частью) погружается в воду, а «хвостовая» углеводородная группа (гидрофобная) обращается к воздуху (рис. 6). Объясняется это тем, что гидрофильная часть молекулы проявляет сродство к воде и растворяется в ней, а гидрофобная группа вытесняется наружу. В результате такой ориентации концентрация молекул ПАВ на границе раздела фаз может в десятки тысяч раз превышать их концентрацию в объеме раствора.

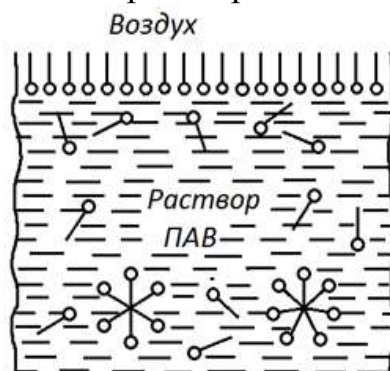


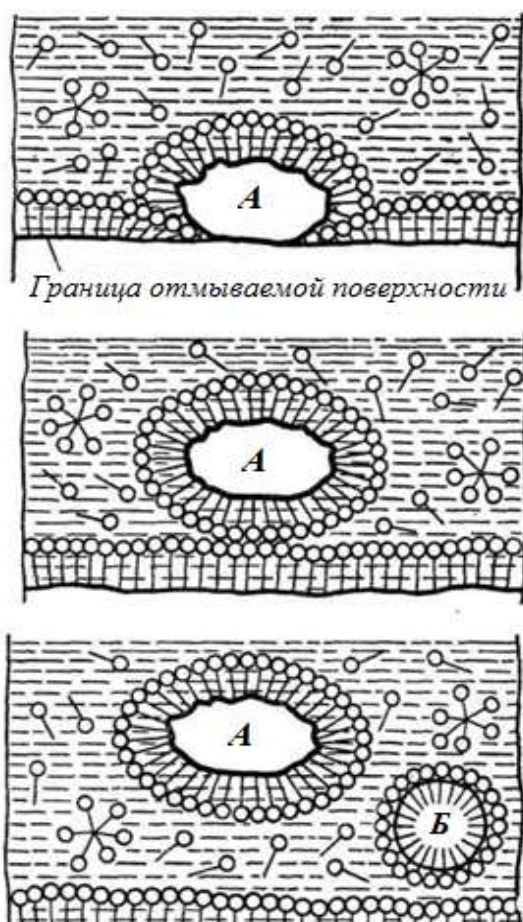
Рисунок 6 – Ориентация (скопление) молекул ПАВ на границе фаз: раствор ПАВ – воздух

Рассмотренную ориентацию молекул ПАВ называют адсорбцией. Так как этот процесс самопроизвольный, то ему сопутствует уменьшение свободной энергии. ПАВ, адсорбируясь на поверхности раздела фаз (жидкость – газ; жидкость – жидкость; жидкость – твердое вещество) уменьшают поверхностную энергию (поверхностное натяжение) на соответствующих поверхностях (между загрязнением и поверхностью очищаемого изделия). С этими свойствами связана способность ПАВ понижать поверхностное и межфазное натяжение растворов,

обеспечивать эффективное эмульгирование, смачивание, диспергирование, пенообразование, и поэтому они называются эмульгаторами. Следовательно, в СМС очищающую роль в основном выполняют ПАВ, а их противокоррозионные свойства обеспечиваются ингибиторами коррозии.

После эмульгирования ПАВ располагаются на поверхности раздела фаз, образуя адсорбционный слой, препятствующий слиянию капель. Вещество, препятствующее слиянию капель, называется стабилизатором. Часто в роли стабилизатора выступают эмульгаторы.

В общем виде процесс мойки при удалении частиц грязи можно разделить на три стадии (рис. 7).



I стадия – молекулы ПАВ адсорбируются на твердой частице грязи и отмываемой поверхности;

II стадия – молекулы ПАВ отделяют грязевую частицу от отмываемой поверхности;

III стадия – твердая и жидкая грязевые частицы в моющем растворе оседают на дно ванны или всплывают на поверхность моющего раствора.

Рисунок 7 – Стадии моющего процесса при удалении частиц грязи

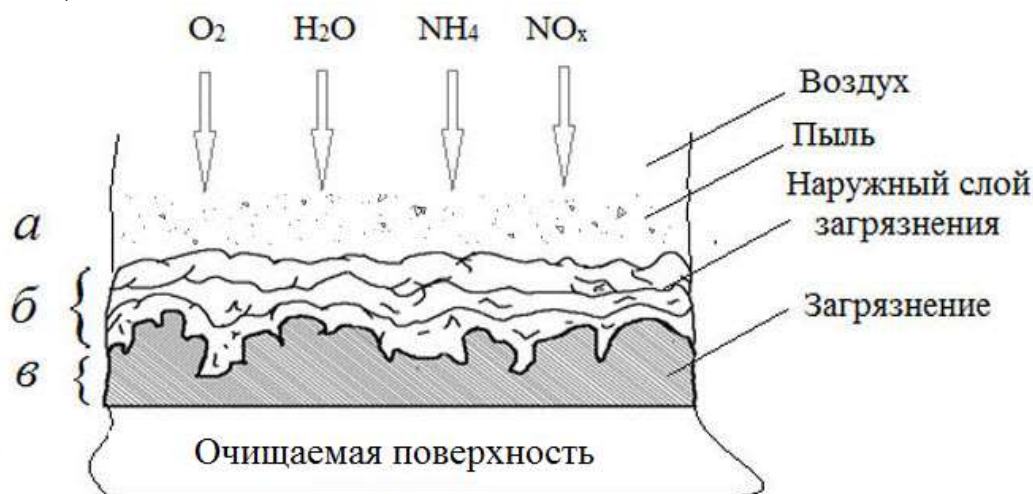
Механизм моющего действия определяется солюбилизацией (коллоидным растворением), т. е. самопроизвольным переходом в раствор нерастворимых или малорастворимых веществ под действием ПАВ.

В результате пептизации твердых загрязнений (процесс повышения дисперсности (раздробленности)) образуются суспензии – взвеси нерастворимых в моющем растворе твердых частиц. Особенно опасны суспензии, образованные частицами менее 1 мк, т.к. они не оседают в течение более одного года, в то время как частицы того же материала размерами 1 мк могут оседать за сутки. Пептизаторы, адсорбируясь на частицах загрязнения (или коагулята), увеличивают гидратацию и заряд его частиц, что приводит к ослаблению связи между ними.

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.

Загрязнение на поверхности металла условно можно разделить на три слоя (рис. 8).



а – наружный слой, включающий пыль и другие легко отделимые примеси; *б* – средний слой, более плотный, требующий применения специальных устройств для очистки; *в* – внутренний слой, самый плотный, требующий для очистки применения СМС и различных добавок к ним

Рисунок 8 – Общий вид загрязнения на поверхности изделия:

Первые два слоя можно удалить струйной мойкой, которая основана на преобразовании статистического напора жидкости в динамическую. Загрязнения удаляются ударом струи, сила которого определяется по формуле:

$$P = m_0 \cdot v_0 \cdot (1 - \cos \alpha) = \rho \cdot \omega_0 \cdot v_0^2 \cdot (1 - \cos \alpha), \quad (6)$$

где P – сила удара струи, Н; m_0 – масса жидкости за секунду, кг/с; ω_0 – живое сечение набегающей струи, м²; ρ – плотность жидкости, кг/м³; v_0 – скорость потока (скорость истечения воды из сопла), м/с; α – угол оттекания струи от точки встречи с преградой, рад.

Следовательно, ударный импульс (сила удара) струи, в итоге и эффективность водоструйной мойки зависят от скорости потока v_0 , которая в свою очередь определяется по известной зависимости:

$$v_0 = \varphi \cdot \sqrt{2gH}, \quad (7)$$

где $\varphi = 0,475 - 0,98$ – коэффициент скорости, зависящий от типа насадки и формы отверстия; g – ускорение свободного падения, м/с²; H – напор воды, м.

Из этой формулы с учетом формулы расхода воды через сечение насадки d :

$$Q = \frac{\pi d^2 v_0}{4 \cdot 1000}; \quad (8)$$

можно установить, что уменьшая диаметр сопла d и увеличивая скорость истечения воды v_0 (увеличением напора H), можно увеличивать силу удара струи P при неизменном расходе воды Q .

Условия отрыва частицы загрязнения от поверхности изделия можно определить по схеме сил, действующих на частицу загрязнения, которая показана на рис. 9.

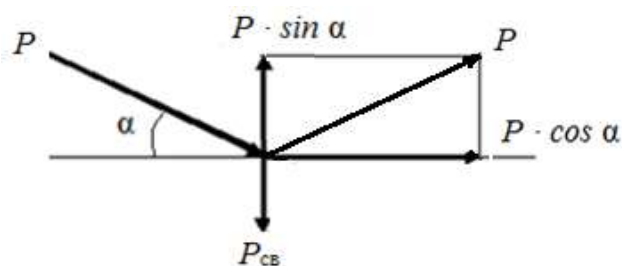


Рисунок 9 – Схема сил, действующих на частицу загрязнения на поверхности изделия, от воздействия струи жидкости

Отрыв частицы загрязнения от поверхности произойдет при условии превышения динамических воздействий напора моющей жидкости над когезионно-адгезионными свойствами загрязнений:

$$P \cdot \sin \alpha \gg P_{\text{св}}. \quad (9)$$

Работу мойки можно выразить формулой:

$$A_o = A_{\text{фх}} + A_{\text{м}}, \quad (10)$$

где $A_{\text{фх}}$ – работа, совершаемая моющей средой вследствие физико-химической активности, зависит от концентрации и температуры моющей среды;

$A_{\text{м}}$ – работа на разрушение адгезионно-когезионных связей загрязнения, вследствие механического воздействия моющей среды на загрязнение, зависит от механической интенсивности процесса мойки (струи, вибрации, ультразвуковых колебаний и т. д.).

Чем физико-химически активнее моющая среда (больше $A_{\text{фх}}$), тем меньше требуется механической энергии; чем физико-химически пассивнее (меньше $A_{\text{фх}}$), тем больше потребуется затратить механической энергии ($A_{\text{м}}$) для получения одинакового результата мойки. Оптимальные величины $A_{\text{фх}}$ и $A_{\text{м}}$ процесса выбирают по технологическим и экономическим соображениям.

Основными оценочными показателями моющего средства являются его моющая способность, характеризующая степень очистки поверхностей от загрязнений, %, и противокоррозионные свойства, характеризующиеся продолжительностью времени до появления первых очагов коррозии на поверхности образцов после мойки в растворе моющего средства, суток.

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

$$C_{\text{оч.}} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100\%, \quad (11)$$

где M_1 – масса загрязнения на испытуемых образцах, г; M_2 – масса оставшегося загрязнения на очищаемых образцах после мойки, г.

Для предупреждения коррозии и защиты металлических изделий от коррозии широкое применение нашли ингибиторы коррозии, особенно в системах, работающих с постоянным или малообновляемым объемом растворов, например, в машинах и ваннах для мойки деталей. Механизм действия ингибиторов в основном имеет электрохимическую природу и заключается в адсорбции ингибитора на корродирующей поверхности и торможении анодных (анодные ингибиторы) или катодных процессов (катодные ингибиторы). Эффективность ингибиторов оценивается степенью

защиты и коэффициентом торможения коррозии. Некоторые ингибиторы способны сместить в поверхностном слое изделия значение электродного потенциала, смещая начало активизации процесса коррозии в положительную сторону. На оба оценочных критерия моющего средства влияют температура раствора; концентрация СМС в растворе; продолжительность мойки; вид и степень загрязнения.

В зависимости от конкретных условий одному из указанных критериев может отдаваться предпочтение, но в общем случае существенную роль играют оба критерия. Задача состоит в том, чтобы добиться компромисса между моющей способностью СМС и его противокоррозионными свойствами. Это означает, что задача является многокритериальной по существу. Для ее решения может быть эффективно использована теория игр. В нашем случае имеем двусторонний конфликт «моющая способность – противокоррозионные свойства» и будем полагать, что имеются два игрока. Задачей первого является максимизация степени очистки поверхностей, задачей второго – максимизация продолжительности времени до появления первых очагов коррозии.

Для решения поставленной задачи разработана математическая модель, в которой игра двух игроков представлена в нормальной форме, т.е. сведена к матричной игре при наличии ограничений по финансовым возможностям, объему ванны, наличным запасам СМС. Методика решения задачи предусматривает отыскание точки равновесия интересов игроков и, исходя из них, определение параметров технологического процесса мойки.

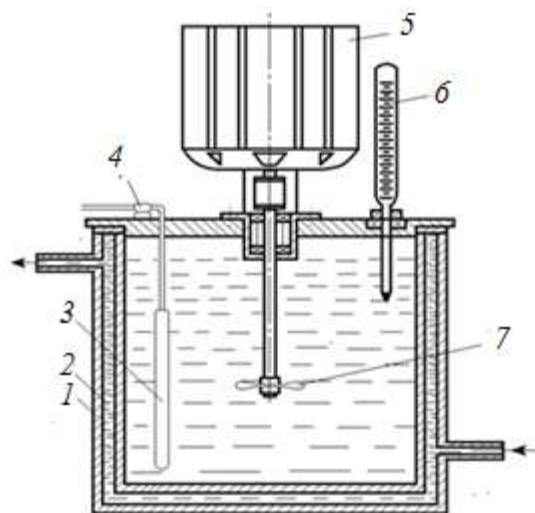
В третьей главе «Методика проведения экспериментальных исследований» представлены разработанные методики проведения лабораторных и производственных экспериментов по определению моющих и противокоррозионных свойств исследуемых композиций моющих растворов гравиметрическим, электрохимическим и потенциостатическим методами. 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.

Параметрами технологического процесса мойки являются продолжительность, температура и состав моющего раствора по включенным компонентам и их концентрации. Для разработки оптимального технологического процесса мойки следовало бы провести многофакторный эксперимент, при котором одновременно варьировались бы все действующие факторы. Однако такой параметр, как состав моющего раствора по включенным компонентам и их концентрации, является в свою очередь многофакторным, что резко затрудняет постановку подобного эксперимента. В связи с этим было принято решение первоначально определить оптимальный состав моющего раствора при фиксированных технологических параметрах процесса: температуре (85°C) и продолжительности (5 мин). Для определения оптимального состава моющих растворов первоначально исследовалась оптимальная концентрация СМС и активизирующих добавок в растворах, а затем определялся оптимальный состав моющих растворов. Рассматривались моющие

растворы на основе СМС со специальными добавками в различных соотношениях.

Была составлена матрица планирования полного факторного эксперимента с двумя факторами, где было предусмотрено одновременное изменение концентраций СМС и добавки. Моющая способность растворов выражалась степенью очистки образцов от модельного загрязнения (смесь отработавшего дизельного (моторного) масла и смолистого отложения из центрифуги в соотношении 2:1). Степень очистки образцов определяли по формуле (11).

Зависимость между параметром оптимизации процесса мойки и факторами (функция отклика) рассматривалась в виде полинома первой степени. В каждом из вариантов эксперимента рассматривалось влияние МБЛ, МБН, МБК, ТБА и ПБА на моющие свойства растворов Лабомида-203, МС-8 и МЛ-51. Методика исследования по всем вариантам была идентичной. Испытания проводились на оригинальной лабораторной моечной установке (рис. 10).



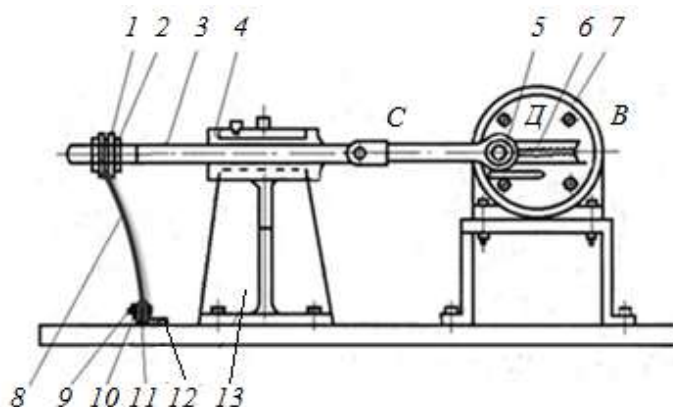
1 – двустенная термостатированная ванна; 2 – рубашка; 3 – образец; 4 – кронштейн; 5 – электродвигатель; 6 – термометр; 7 – пропеллерная мешалка

Рисунок 10 – Лабораторная моечная установка:

В качестве образца при определении моющей способности исследуемого состава использовалась стальная шлифованная с одной стороны пластина размером 150×70×2 мм. Порядок выполнения работ был следующий: подготовка образцов (удаление первичных продуктов коррозии и окалины); измерение размеров образцов (трехкратная повторность); обезжиривание поверхности образцов с одной стороны венской известью, промывка холодной водой и просушка между листами фильтровальной бумаги; взвешивание образцов; нанесение на обезжиренную поверхность образцов модельного загрязнения в количестве 0,1 г равномерным слоем с одной стороны образца; выдерживание образцов на воздухе в течение 30 мин; взвешивание образцов с загрязнением; заполнение ванны моечной установки водой, подогрев до температуры 85-90°C и постепенное добавление моющего средства; помещение образцов в моечную установку; определение моющей способности каждого раствора весовым методом при продолжительности процесса мойки 5 мин.

Смачивающую способность определяли последовательным погружением образцов в моющий раствор и в деминерализованную воду на 10 секунд. После выемки образцов из воды визуально фиксировали продолжительность времени до нарушения сплошности водяной пленки. Разрыв пленки на поверхности от краев образцов менее 10 мм не учитывали. Смачиваемость определяли продолжительностью времени в секундах с момента выемки образцов из воды до нарушения сплошности пленки.

При исследовании влияния ингибиторов на коррозионно-усталостную прочность стали в качестве критериев для количественного выражения коррозии образцов при одновременном действии циклических напряжений приняты коэффициент запаса циклической прочности на выбранной базе испытаний (N – число циклов до разрушения) и циклическая долговечность при заданном напряжении образцов в коррозионных средах. Циклические напряжения в металле создавали симметричным изгибом образцов с частотой 300 цикл/мин на оригинальной установке для коррозионно-усталостных испытаний (рис.11).



1 – резиновая прокладка; 2 – кольцо; 3 – плун; 4 – втулка; 5 – винт; 6 – измерительная шкала; 7 – маховик; 8 – испытуемый образец; 9 – болт; 10 – гайка; 11 – планка; 12 – угольник; 13 – стойка

Рисунок 11 – Схема установки для испытания образцов на коррозионную усталость:

Определение нагрузки при изгибе и напряжения в металле в ходе эксперимента рассчитывали по известным зависимостям. Пересчет на внутреннее напряжение металла производили по формуле:

$$\sigma = \pm \frac{3Ehf}{2l^2}, \quad (13)$$

где E – модуль упругости испытуемого материала; h – толщина образца, мм; f – стрела прогиба образца (амплитуда колебания), мм; l – рабочая длина образца, мм.

В ходе эксперимента снимались кривые длительной циклической прочности металла в коррозионной среде без ингибитора и в присутствии ингибитора (рис. 12), в коррозионно-инертной среде (кривая 1), в коррозионной среде без ингибитора (кривая 2) и в присутствии ингибитора (кривая 3), в коррозионно-инертной среде после выдержки в коррозионной среде без ингибитора (кривая 4), в коррозионно-инертной среде после выдержки в коррозионной среде с ингибитором (кривая 5).

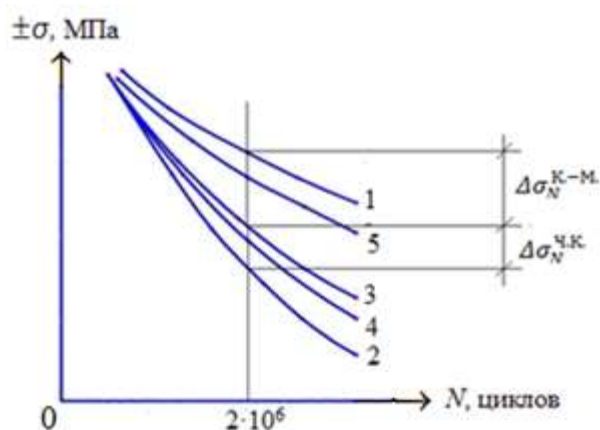


Рисунок 12 – Кривые длительной циклической прочности металла

На основании экспериментальных данных вычисляли значения σ_N^K – напряжения, при которых образцы разрушаются в коррозионной среде при базовом числе циклов N до разрушения испытуемых в различных средах.

Эффективность действия ингибитора на коррозионно-усталостную прочность стали определяли путем сравнения значений напряжений σ_N^K и N в коррозионной среде с ингибитором и без него.

Уменьшение циклической прочности стали вызвано разрушениями, связанными с чисто коррозионными и коррозионно-механическими поражениями, следовательно на базе N будет:

$$\Delta\sigma_N^{С.М.} = \Delta\sigma_N^{Ч.К.} + \Delta\sigma_N^{К.-М.}, \quad (14)$$

где $\Delta\sigma_N^{С.М.}$ – суммарное уменьшение циклической прочности в коррозионной среде; $\Delta\sigma_N^{Ч.К.}$ – уменьшение циклической прочности чисто коррозионными поражениями; $\Delta\sigma_N^{К.-М.}$ – уменьшение циклической прочности коррозионно-механическими поражениями.

Разработана методика коррозионно-электрохимических исследований, которая предусматривает выявление характера изменения электродных потенциалов корродирующих металлов во времени и определение величины установившегося (стационарного) потенциала, так как он характеризует процессы коррозии в течение длительного времени.

В четвертой главе «Определение оптимальной концентрации синтетических моющих средств в моющих растворах» проведены лабораторные исследования по определению оптимальной концентрации исследуемых СМС в водных растворах и предварительному выбору СМС.

Так, лабораторные исследования зависимости степени очистки образцов от концентрации СМС в моющем растворе при температуре 80-90°C и продолжительности мойки 5 минут показали идентичные результаты для всех рассмотренных СМС (рис. 13). При повышении концентрации СМС в моющем растворе до 3% наблюдается увеличение степени очистки более 80%. Дальнейшее увеличение концентрации СМС в моющем растворе не приводит к существенному изменению результатов. Также отметим, что характеры изменения степени очистки для всех исследованных СМС одинаковы.

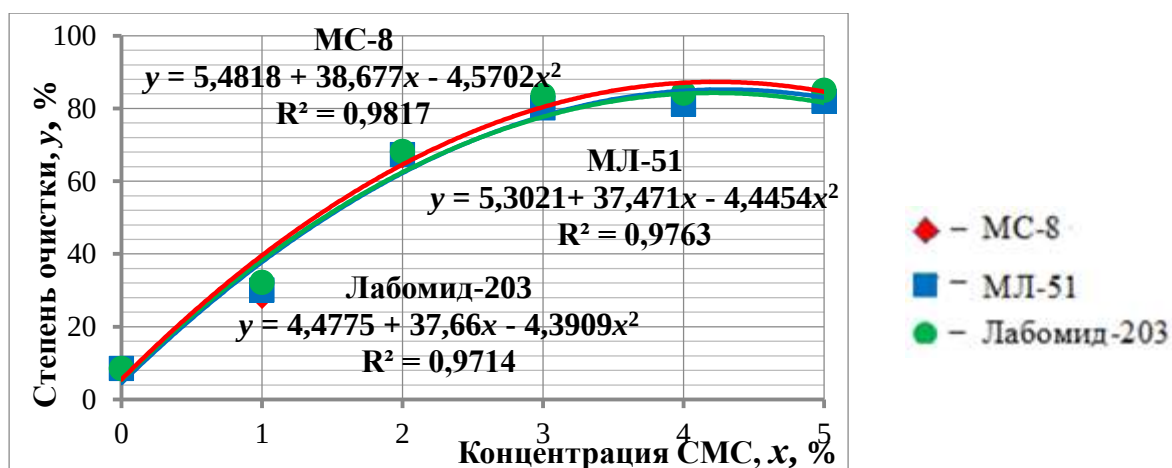


Рисунок 13 – Зависимость степени очистки образцов (y, %) от концентрации СМС (x, %) в моющем растворе при температуре 85-90°C и продолжительности мойки 5 мин

Влияние растворов рассмотренных СМС на коррозионную стойкость образцов незначительно (табл. 2), так как в рецептуре этих СМС отсутствуют ингибиторы коррозии. Для повышения противокоррозионных свойств необходимо применение специальных добавок.

Таблица 2 – Результаты исследования коррозионной стойкости образцов из стали Ст45Х после мойки в растворах СМС различной концентрации

Концентрация раствора СМС, %	Продолжительность времени до появления первых очагов коррозии на поверхности образцов после мойки в растворах, суток					
	Лабомида-203		МС-8		МЛ-51	
	по образцам	средняя по варианту	по образцам	средняя по варианту	по образцам	средняя по варианту
0 (контроль)	2; 2; 3; 2; 3	2,4	2; 2; 3; 2; 3	2,4	2; 2; 3; 2; 3	2,4
1	4; 4; 4; 4; 4	4,0	6; 6; 6; 5; 5	5,6	3; 3; 3; 3; 3	3,0
2	4; 5; 4; 5; 5	4,6	7; 7; 7; 8; 7	7,2	3; 2; 4; 3; 3	3,0
3	6; 6; 7; 7; 6	6,4	8; 9; 8; 8; 9	8,4	4; 5; 5; 6; 5	5,0
4	7; 7; 7; 8; 8	7,4	8; 9; 9; 9; 9	8,8	5; 4; 4; 6; 6	5,0
5	8; 8; 8; 8; 8	8,0	10; 10; 9; 10; 10	9,8	6; 5; 5; 6; 5	5,4

Для предварительного выбора СМС проведена сравнительная оценка 3%-х водных растворов Лабомида-203, МС-8 и МЛ-51 и каустической соды (базовый вариант). Результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Результаты сравнительной оценки Лабомида-203, МС-8 и МЛ-51 с каустической содой по моющим и противокоррозионным свойствам

3%-е водные растворы СМС	Степень очистки %	Продолжительность времени до появления первых очагов коррозии на поверхности образцов, суток
Каустической соды	72,0	3,0
Лабомида-203	80,2	6,4
МС-8	83,6	8,4
МЛ-51	81,45	5,0

По противокоррозионным свойствам Лабомида-203, МС-8 и МЛ-51 превосходят каустическую соду в 2-2,5 раза, а по степени очистки – на 8-12%.

Наиболее эффективным по моющим и противокоррозионным свойствам является МС-8. При этом следует отметить, что все рекомендуемые СМС нуждаются в повышении моющих и противокоррозионных свойств за счет включения в их состав специальных экологически безопасных добавок.

В пятой главе «Обоснование параметров технологического процесса мойки изделий» проведены экспериментальные исследования по обоснованию оптимальных параметров технологического процесса мойки (продолжительность, температура и состав моющего раствора по включенным компонентам и их концентрации), выбору добавки по степени влияния на моющую и противокоррозионную способность растворов СМС, влияния добавок на снижение энергозатрат при мойке деталей, зависимости степени очистки от соотношения компонентов в моющем растворе, а также решена двухкритериальная задача выбора моющего средства и его концентрации.

В связи с отсутствием в нормативных материалах и литературных источниках сведений об оптимальных продолжительности мойки деталей и температуры растворов Лабомида-203, МС-8 и МЛ-51 нами проведены исследования этих параметров (рис. 14, 15).

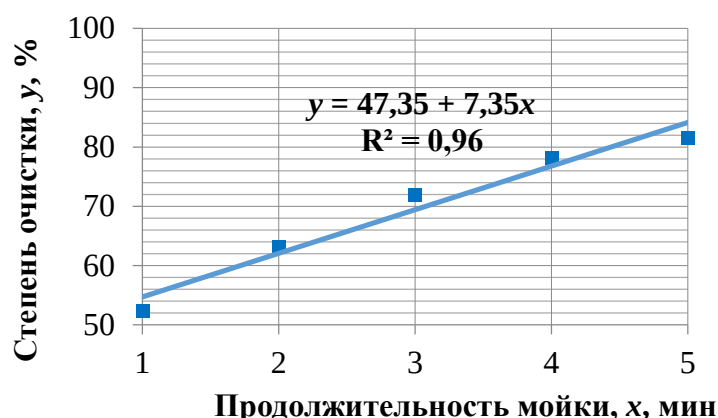


Рисунок 14 – График зависимости степени очистки (y, %) от продолжительности (x, мин) мойки образцов в 3%-м растворе Лабомида-203

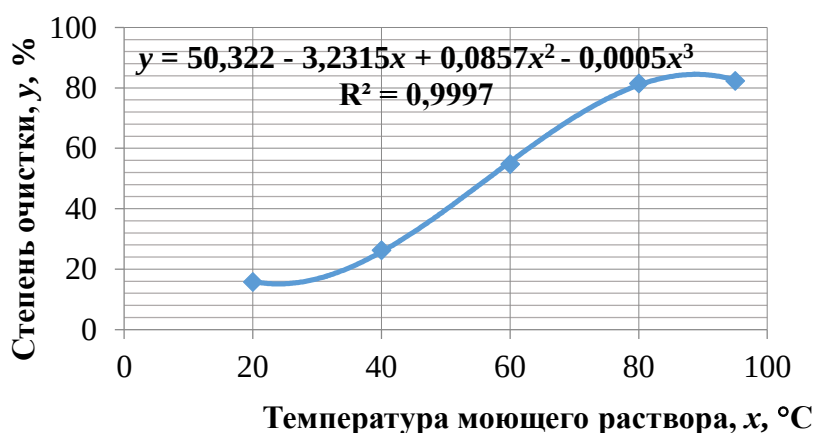


Рисунок 15 – График зависимости степени очистки образцов (y, %) от температуры моющего раствора (x, °C)

Установлено, что зависимость степени очистки образцов от продолжительности мойки имеет линейный характер (рис. 14), а зависимость

степени очистки образцов от температуры моющего раствора аппроксимируется полиномом 3-й степени (рис. 15).

Исходя из того, что в условиях ремонтного производства не требуется 100%-я очистка поверхностей деталей (она определяется технологическими требованиями), оптимальные продолжительность мойки и температура моющего раствора определены из условия 80%-й степени очистки и для 3%-го водного раствора Лабомида-203 они составили 4,5 мин и 83°C соответственно:

$$y = 47,35 + 7,35x = 80, \text{ откуда } x \approx 4,5 \text{ мин.}$$

$$y = 50,322 - 3,2315x + 0,0857x - 0,0005x^3 = 80, \text{ откуда } x = 83^\circ\text{C.}$$

Для достижения 80%-й очистки образцов от загрязнений продолжительность мойки должна быть в пределах 5 мин, а температура моющего раствора – от 80 до 90°C.

Одним из способов улучшения моющих и противокоррозионных свойств растворов СМС является использование специальных добавок, в качестве которых мы предлагаем монобораты лития (МБЛ), натрия (МБН), калия (МБК), проявляющие моющие и противокоррозионные свойства в водных средах и являющиеся экологически безвредными добавками. Была поставлена задача определить их оптимальные концентрации для очистки изделий от загрязнений.

Условия экспериментов: 3%-е растворы СМС Лабомида-203, МС-8, МЛ-51; добавки МБЛ, МБН, МБК концентрациями в растворах СМС 1, 2, 3, 4, 5, 6 г/л; температура растворов 80-90°C; число опытов в варианте – 5; продолжительности мойки 5 мин; загрязнение – искусственное.

Установлено, что степень очистки образцов в 3%-м растворе Лабомида-203 с увеличением концентраций добавок повышается и достигает максимума 84,0% в смеси с МБЛ, 91,3% с МБН, 92,8% с МБК при концентрации добавок 5 г/л (рис. 16).

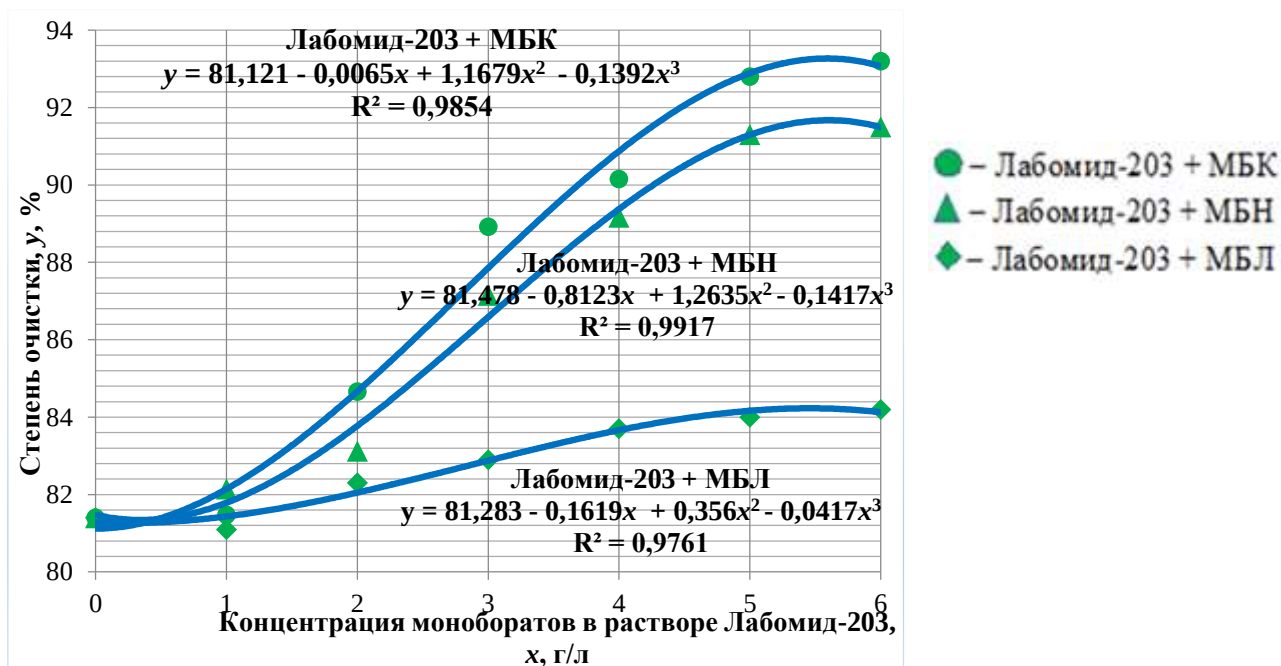


Рисунок 16 – Зависимость степени очистки образцов в 3%-м водном растворе Лабомида-203 от концентрации МБЛ, МБН, МБК

Аналогичные результаты получены при исследовании степени очистки образцов в 3%-х растворах МС-8 и МЛ-51. В растворе МС-8 степень очистки образцов достигает максимума 90,7% с МБЛ, 93,6% с МБН, 97,9% с МБК, а в растворе МЛ-51 – 83,8% с МБЛ, 86,4% с МБН, 88,2% с МБК при концентрации добавок 5 г/л. Дальнейшее повышение концентрации боратов к существенному повышению степени очистки образцов во всех исследованных вариантах не приводит. Это доказывает, что концентрация боратов 5 г/л в 3%-х растворах СМС является оптимальной. Наилучшими ингибиторными и моющими свойствами из изученных СМС обладает МС-8, а из добавок – МБК.

С целью снижения трудоемкости мойки и энергозатрат на поддержание оптимальной температуры моющего раствора проведено исследование влияния температуры на моющую способность 3%-х растворов МС-8, Лабомида-203, МЛ-51 без добавки и с добавкой МБК (рис. 17).

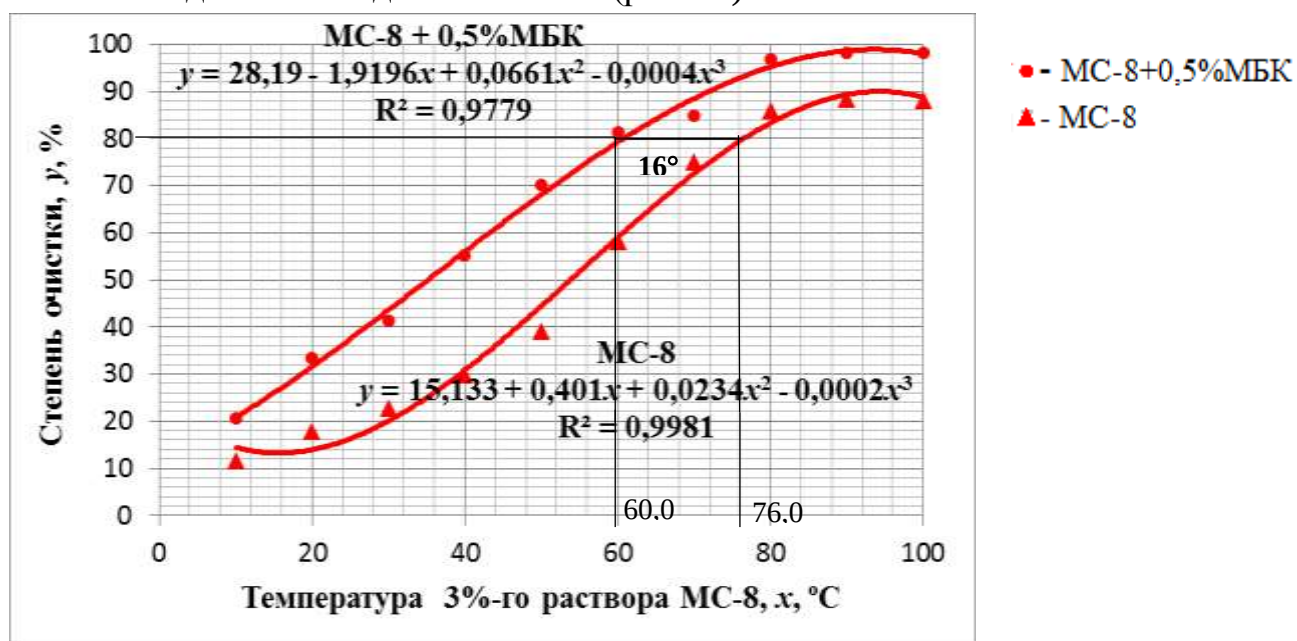


Рисунок 17 – Зависимость степени очистки образцов от температуры 3%-го раствора МС-8 без добавки и с добавкой МБК концентрацией 5 г/л при продолжительности мойки 5 мин

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что добавка МБК концентрацией 5 г/л в раствор МС-8 позволяет снизить температуру раствора на 14-18°C, обеспечивая при этом такой же уровень качества мойки, что способствует снижению энергозатрат на поддержание оптимальной температуры моющего раствора на 20,677 кВт·ч (0,017778 Гкал) или на сумму 81,88 руб. на один подогрев.

Расчет расходов на нагрев моющего раствора с 60 до 76°C (Онлайн расчет)*

Начальная температура моющего раствора, °C 60;
 Температура нагретого моющего раствора, °C 76;
 Объем моющего раствора, м³ 1,0 (1000 л);
 Мощность нагревателя, кВт 36 кВт (36000 Вт);
 КПД нагревателя, % 90;
 Время нагрева 34 мин 27 с (0,57435 ч);
 Расход электроэнергии на нагрев 20,77 кВт·ч (0,018 Гкал);

Тариф на электроэнергию, руб за кВт·ч 3,96;

Стоимость разогрева воды, руб. 81,88;

* Ссылка на [данный расчет](https://nagrev24.ru/voda/?t1=60&t2=76&vol=1000&eff=90&power=36&price=3.96):

<https://nagrev24.ru/voda/?t1=60&t2=76&vol=1000&eff=90&power=36&price=3.96>

Для проверки гипотезы о возможности улучшения противокоррозионных свойств моющих средств получены зависимости скорости коррозии ($K_{\text{ср.}}$), ингибиторного эффекта ($\gamma_{\text{ср.}}$) и степени защиты ($Z_{\text{ср.}}$) стали Ст.45Х в 3%-х растворах NaCl в присутствии МЛ-51, Лабомида-203 и МС-8 от концентрации МБК за 30 суток (рис. 18-20).

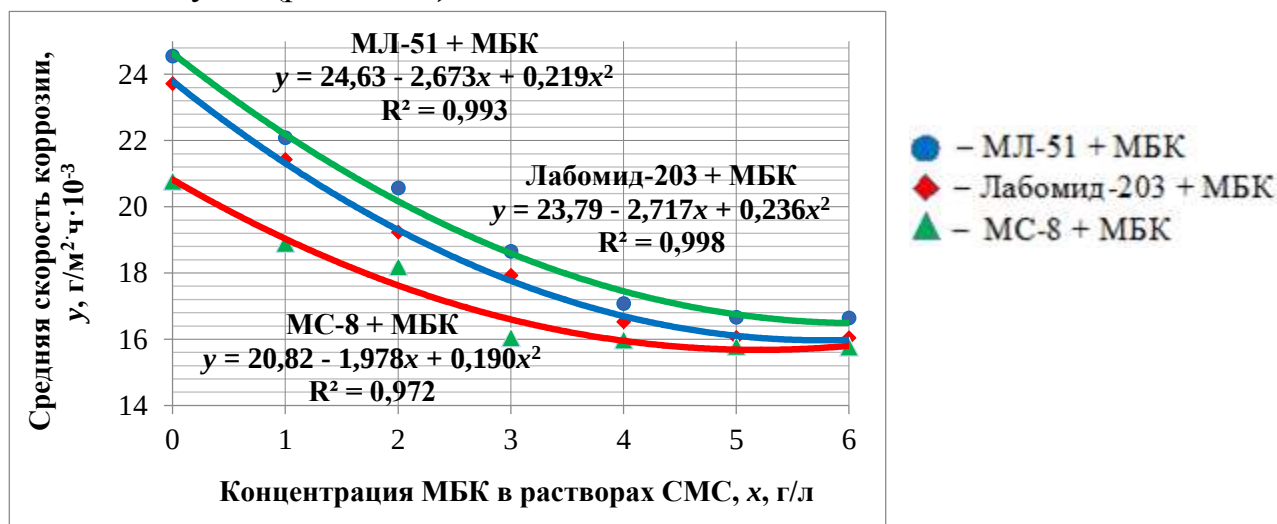


Рисунок 18 – Зависимость скорости коррозии ($K_{\text{ср.}}$) стали Ст. 45Х в 3%-х растворах NaCl в присутствии Лабомида-203, МС-8 и МЛ-51 концентрацией 3% от концентрации МБК за 30 суток

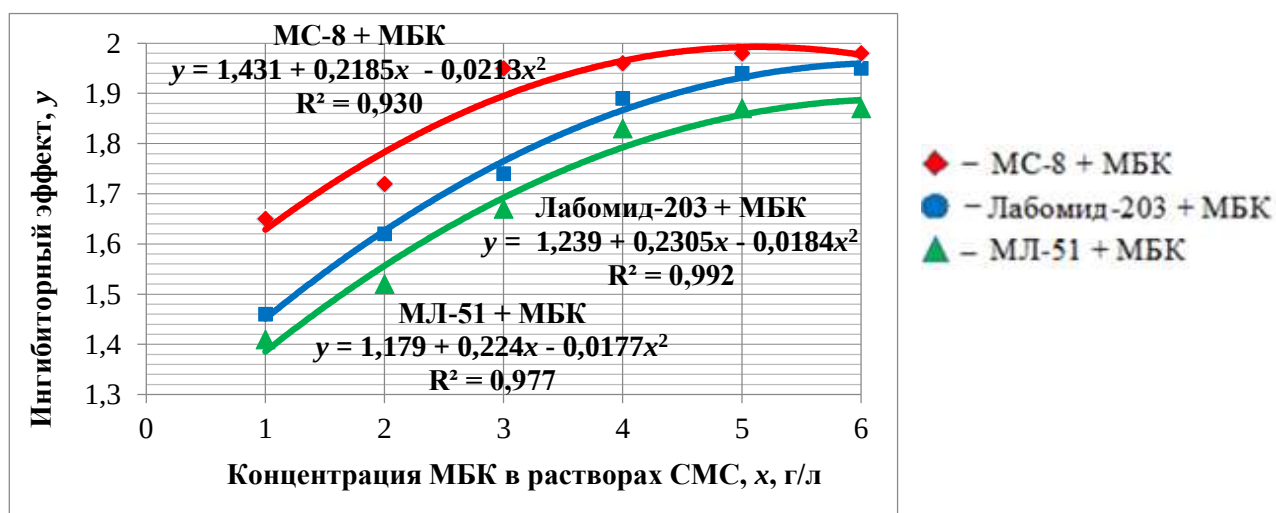


Рисунок 19 – Зависимость ингибиторного эффекта ($\gamma_{\text{ср.}}$) стали Ст. 45Х в 3%-х растворах NaCl в присутствии Лабомида-203, МС-8 и МЛ-51 концентрацией 3% от концентрации МБК за 30 суток

Оказалось, что зависимости всех трех показателей достигают экстремума в зоне концентрации боратов, равной 5 г/л. При увеличении концентрации боратов свыше 5 г/л заметное повышение степени защиты растворов не наблюдается.

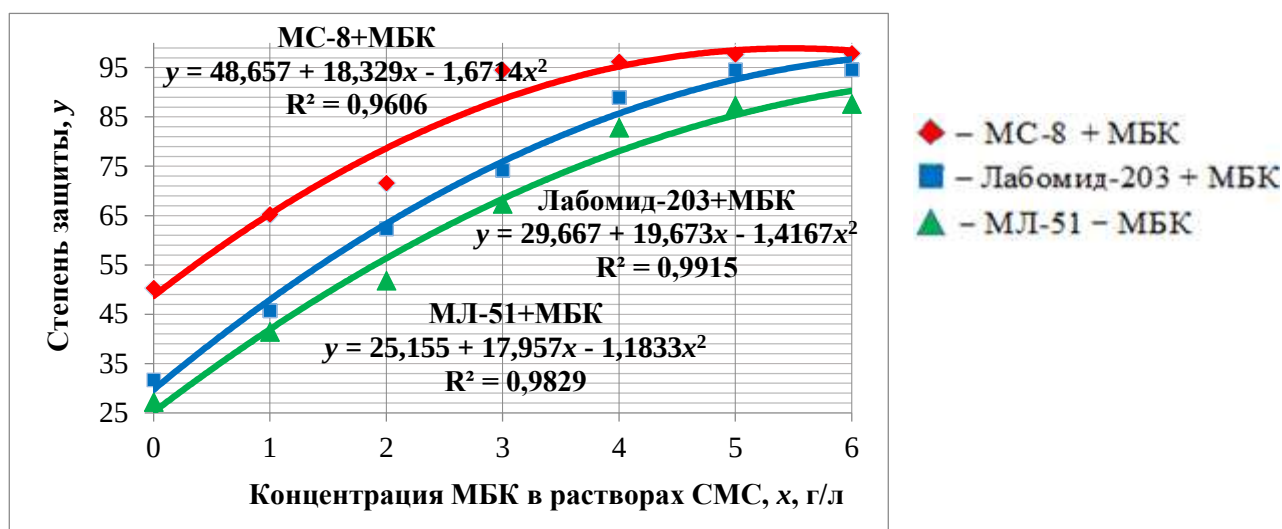


Рисунок 20 – Зависимость степени защиты ($Z_{ср.}$) стали Ст. 45X в 3%-х растворах NaCl в присутствии Лабомида-203, МС-8 и МЛ-51 концентрацией 3% от концентрации МБК за 30 суток

Полученный результат подтвержден путем измерения стационарных потенциалов стали Ст. 45X (рис. 21). Электродный потенциал стали с введением МБЛ (кривая 2), МБН (кривая 3), МБК (кривая 4) начинает интенсивно повышаться по сравнению с электродным потенциалом стали в 3%-м растворе МС-8 без добавки (кривая 1) и по истечении 24 часов его рост прекращается.

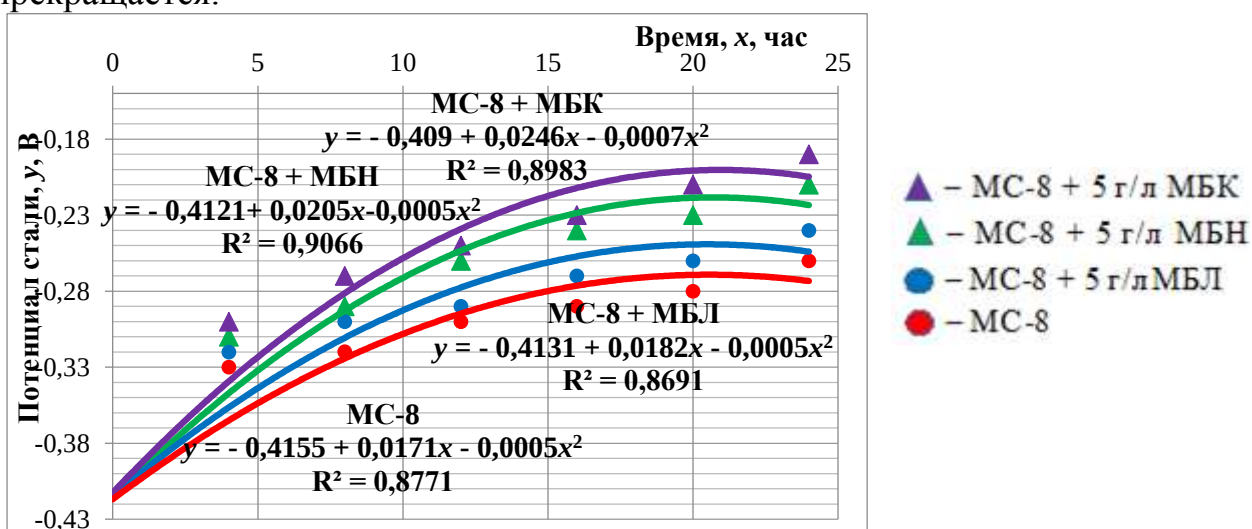


Рисунок 21 – Изменение стационарного потенциала стали Ст. 45X во времени в 3%-х растворах: 1 – МС-8; 2 – МС-8 + 5 г/л МБЛ; 3 – МС-8 + 5 г/л МБН; 4 – МС-8 + 5 г/л МБК

В производственных условиях противокоррозионные свойства растворов определяли по продолжительности времени (сутки) с момента завершения мойки в исследуемых растворах до появления первых очагов коррозии на поверхности вымытых деталей. В качестве моющих растворов использовали 3%-е растворы СМС с добавкой МБЛ, МБН, МБК, ТБА и ПБА концентрацией 1,0, 2,5, 5,0 и 6,0 г/л.

В табл. 4 показаны данные исследования продолжительности времени до появления первых очагов коррозии на поверхности стали Ст. 45X после мойки

в 3%-х растворах СМС с разными добавками концентрацией 5 г/л.

Таблица 4 – Продолжительность времени до появления первых очагов коррозии на поверхности стали Ст. 45Х после мойки в 3%-х растворах СМС с разными добавками концентрацией 5 г/л, в сутках

Моющие растворы с 3%-й концентрацией СМС	Наименование добавок		
	МБЛ	МБН	МБК
Лабомида-203	13,0	16,2	17,6
МС-8	19,0	17,4	22,2
МЛ-51	17,0	19,4	21,0

По ингибиторному действию исследованные добавки в СМС ранжируются в следующей последовательности: МБК > МБН > МБЛ.

Наличие исследуемой добавки в растворе уменьшает действие факторов, вызывающих снижение прочности металла. Это доказано исследованием влияния добавок на коррозионную усталость стали в растворах моющих средств. Испытания проводили с моющим средством МС-8 с добавкой 5 г/л МБК, как наиболее эффективным из проверенных ранее составов. Для установления природы разрушающих факторов, вызывающих уменьшение циклической прочности стали, снимали усталостные кривые на воздухе, в 3%-м растворе

МС-8; в 3%-м растворе МС-8 + 5 г/л МБК; на воздухе после предварительной выдержки в 3%-м растворе МС-8; на воздухе после предварительной выдержки в 3%-м растворе МС-8 + 5 г/л МБК. Результаты коррозионно-усталостных испытаний подтверждают, что МБК уменьшает действие разрушающих факторов на циклическую прочность и увеличивает коэффициент запаса циклической прочности металла в исследуемой среде.

Эксперименты по исследованию зависимости степени очистки от совместного влияния концентраций СМС и добавок проведены с растворами Лабомида-203, МС-8, МЛ-51 с добавками МБЛ, МБН, МБК с использованием разработанной матрицы в соответствии с планом эксперимента $N = 2^2$ (табл. 5).

Таблица 5 – Уравнения зависимости степени очистки от совместного влияния концентраций СМС и добавок на основе результатов исследований

Наименование СМС	Наименование добавок	Уравнение регрессии
Лабомид-203	МБЛ	$3 = 84,0 + 0,25x_1 - 0,2x_2$
	МБН	$3 = 91,3 - 0,15x_1 - 0,4x_2$
	МБК	$3 = 92,8 + 0,2x_1x_2$
МС-8	МБЛ	$3 = 90,7 + 0,85x_2 + 0,2x_1x_2$
	МБН	$3 = 93,6 + 0,4x_1 + 1,0x_2 - 0,8x_1x_2$
	МБК	$3 = 97,9 + 0,2x_1 + 0,1x_2 - 0,3x_1x_2$
МЛ-51	МБЛ	$3 = 83,8 + 0,2x_1 + 0,4x_2 - 0,2x_1x_2$
	МБН	$3 = 86,4 + 0,45x_1 + 0,45x_2$
	МБК	$3 = 88,2 - 0,7x_2$

Полученные регрессионные уравнения позволяют при разработке технологических процессов мойки обоснованно выбирать состав моющего раствора в зависимости от требуемой степени очистки изделий от загрязнений.

В шестой главе «Подконтрольная эксплуатация автомобилей с отремонтированными двигателями» обоснован выбор марки автомобиля для подконтрольной эксплуатации на основе изучения автомобильного парка РФ и ЧР, которое показало, что лидерами являются автомобили ВАЗ. По РФ их доля в парке легковых автомобилей составила 34,5%, а по ЧР – 42,1%. Количество автомобилей ВАЗ, находящихся в личной собственности граждан в сельских населенных пунктах ЧР, составила 34392 ед. Автомобили ВАЗ достаточно широко используются и в сельскохозяйственном производстве.

Для проведения подкормки, обработки от вредителей и болезней, прополки гербицидами посевов зерновых и других сельскохозяйственных культур используют мобильный агрегат на базе автомобиля ВАЗ-2121 «Нива» (Патент РФ № 67402 «Агрегат для химической обработки посевов»).

На базе автомобиля ВАЗ 21213 с удлиненной кабиной изготовлен молоковоз ВИС-23464. Вместо задней части кузова установлена унифицированная полурама с грузовой платформой и пластмассовой цистерной.

Автоцистерна ПИКАП ГРАНТА на базе автомобиля ВАЗ 21213 может комплектоваться холодильной установкой, что гарантирует качество продукта при розничной торговле и перевозке на дальние расстояния или при кратковременном хранении молока или других жидкостей: кваса, пива, вина и др.

Пикап-автомобиль ВИС-2349 «ГРАНТА» на базе автомобиля ВАЗ 21213 используется для мелкооптовой перевозки сельскохозяйственной продукции и малогабаритных грузоперевозок. Выпускается в комплектации бортовой; бортовой цистерна; с пластиковым тентом; фургон. В комплектации удлиненный бортовой может использоваться для перевозки тюков сена и соломы.

Как видно из приведенного анализа, автомобили ВАЗ достаточно эффективно применяются в сельском хозяйстве для выполнения как технологических, так и перевозочных работ. В связи с этим для исследований принимаем автомобили ВАЗ.

Производственная проверка полученных результатов проводилась в ряде предприятий ЧР: в ГУП ЧР «Чувашавтотранс» Министерства транспорта и дорожного хозяйства Чувашской Республики (ЧР), ООО «Чебоксары-Лада», ООО «Альянс Ко», СХПК – колхоз имени Ленина Чебоксарского района ЧР, ООО «АвтоБосс». На учет принимались автомобили ВАЗ, в первый раз поступающие на ремонт двигателя. Мойку деталей разобранного двигателя выполняли с использованием одного из трех исследуемых 3%-х растворов: каустической соды, МС-8 и МС-8 в смеси с МБК концентрацией 5 г/л. Продолжительность мойки и температура моющего раствора во всех случаях были идентичными и составляли 5 мин и 85°C. С владельцами автомобилей заключали договор, где они обязывались эксплуатировать автомобиль после ремонта двигателя в соответствии с руководством по эксплуатации и с наступлением следующего срока ремонта двигателя сообщить пробег автомобиля.

По показаниям спидометров автомобилей определяли ресурс между первым и вторым ремонтами двигателя, а по ним по каждой выборке рассчитывали средние ресурсы экспериментальных двигателей по

рассматриваемым тремя вариантам параметров технологического процесса, которые составили соответственно 93400, 105130 и 114410 км. Наилучшие результаты получены при использовании 3%-го раствора МС-8 в смеси с МБК концентрацией 5 г/л.

Однако расхождения между тремя выборками могут быть обусловлены случайными причинами и находиться в пределах ошибки эксперимента. Для проверки гипотезы о принадлежности выборок одной генеральной совокупности был использован критерий серий. Установлено, что при уровне значимости 0,05 гипотеза о принадлежности рассматриваемых выборок одной генеральной совокупности отвергается, т.е. расхождение между выборками не случайно.

При расчете экономической эффективности результатов исследования за базу для сравнения был принят первый вариант параметров технологического процесса (мойка в 3%-м растворе каустической соды при температуре 85°C).

Экономическая эффективность (руб.) от применения МБК концентрацией 5 г/л в составе раствора МС-8 определяется из выражения:

- по отношению к 3%-му раствору каустической соды:

$$\mathcal{E}_{\text{кауст.}} = (C_{\text{кауст. с. общ.}} - C_{\text{МС-8+МБК общ.}}) \times L_{\text{рес. МБК}}; \quad (16)$$

- по отношению к 3%-му раствору МС-8:

$$\mathcal{E}_{\text{МБК}} = (C_{\text{МС-8 общ.}} - C_{\text{МС-8+МБК общ.}}) \times L_{\text{рес. МБК}}, \quad (17)$$

где $C_{\text{кауст. с. общ.}}$ – общие удельные затраты при мойке деталей двигателя в 3%-м растворе каустической соды, руб./км;

$C_{\text{МС-8 общ.}}$ – общие удельные затраты при мойке деталей двигателя в 3%-м растворе МС-8, руб./км;

$C_{\text{МС-8+МБК общ.}}$ – общие удельные затраты при мойке деталей двигателя в 3%-м растворе МС-8 в смеси с МБК концентрацией 5 г/л, руб./км;

$L_{\text{рес. МБК}}$ – пробег автомобилей, детали двигателей которых вымыты в 3%-м растворе МС-8 в смеси с МБК концентрацией 5 г/л, км.

Общие удельные затраты (затраты на 1 км пробега) определяются, как сумма удельных затрат на разовую мойку и ремонт двигателя (табл. 6).

Таблица 6 – Общие удельные затраты по составам моющего раствора

Моющее средство	Стоимость разовой мойки, руб.	Средние ресурсы экспериментальных двигателей, км	Удельная стоимость, руб./км		Общие удельные затраты, руб./км
			разовой мойки	ремонта ДВС	
3%-й раствор каустической соды	451,46	93400	0,0035	0,173	0,1765
3%-й раствор МС-8	713,46	105130	0,0035	0,153	0,1565
3%-й раствор МС-8 в смеси с МБК (5 г/л)	913,46	114410	0,005	0,140	0,145

Экономический эффект от применения МБК концентрацией 5 г/л в составе раствора МС-8 достигается за счет увеличения ресурса отремонтированных двигателей на 21,5% (на 21 тыс. км), повышения

производительности труда на 8% и снижения энергозатрат на разовый подогрев моющего раствора на 20,77 кВт·ч (81,88 руб.) за счет снижения его температуры на 14-18°C при сохранении качества мойки и по отношению к 3%-му раствору каустической соды составляет 3604,00 руб. (22,5%), по отношению к 3%-му раствору МС-8 – 1315,72 руб. (8,2%) на один отремонтированный двигатель.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Решена имеющая важное хозяйственное значение научная проблема повышения эффективности технологического процесса мойки узлов, агрегатов и деталей мобильной техники при ее ремонте за счет совершенствования технологического процесса мойки. Выполнены новые технологические разработки, обоснованы их параметры (продолжительность процесса, температура моющего раствора и его состава по наличию СМС, добавок и их концентрации), вносящие значительный вклад в развитие страны.

Выявлены резервы повышения эффективности технологического процесса мойки при ремонте автомобилей, реализуемые через обоснованные параметры технологического процесса мойки, способствующего снижению трудоемкости ремонтных работ, достижению требуемой степени очистки деталей, что повышает культуру производства и препятствует использованию при ремонте деталей с неявно выраженными дефектами; сокращает время на выявление дефектов деталей и обеспечивает обоснованную и быструю замену негодных деталей; формирует на поверхности вымытых изделий пассивирующую пленку, которая повышает их коррозионную стойкость. Основными оценочными показателями моющего средства приняты его моющая способность, характеризующая степень очистки поверхностей от загрязнений, и противокоррозионные свойства, характеризующиеся продолжительностью времени до появления первых очагов коррозии на поверхности после мойки.

2. Сформирована концепция оптимизации технологического процесса, основанная на комплексном подходе к исследованиям технологического процесса мойки составных частей мобильной техники при одновременном учете двух параметров оптимизации: степени очистки и коррозионной стойкости поверхностей деталей с целью снижения материальных и трудовых затрат при ремонте, повышения производительности труда, снижения энергозатрат для поддержания оптимальной температуры моющего раствора. На моющую способность и противокоррозионные свойства раствора влияют продолжительность процесса, температура моющего раствора и его состав по наличию СМС, добавок и их концентрации.

3. Проведен комплекс экспериментальных исследований по выявлению зависимостей параметров оптимизации технологического процесса мойки от влияющих на них факторов, в ходе которых первоначально были определены оптимальные концентрации СМС (3%) и активизирующих добавок (0,5%) в водных растворах, температура моющего раствора (85°C) и продолжительность процесса (5 мин), а затем – оптимальный состав моющего раствора. Рассматривались моющие растворы на основе СМС с добавками соединений бора в различных соотношениях при фиксированных температуре моющего раствора (85°C) и продолжительности процесса (5 мин).

4. Установлено, что зависимость степени очистки образцов от продолжительности мойки имеет линейный характер, а от температуры моющего раствора аппроксимируется полиномом 3-й степени. Исходя из того, что при ремонте не требуется 100%-я очистка поверхностей узлов, агрегатов и деталей, оптимальные продолжительность мойки и температура моющего раствора определены из условия 80%-й степени очистки и для 3%-го водного раствора Лабомида-203 они составили 4,5-5 мин и 80 – 90°С.

Исследования моющей способности растворов проводились согласно матрице планирования полного факторного эксперимента с двумя факторами: концентрации СМС и концентрации МБЛ, МБН, МБК в растворах Лабомида-203, МС-8 и МЛ-51. Зависимость между параметром оптимизации процесса мойки и факторами (функция отклика) рассматривалась в виде полинома первой степени. Установлено, что наилучшими моющими способностями из исследованных СМС обладает МС-8, а из добавок – МБК. Полученные зависимости степени очистки от концентраций СМС и добавок позволяют при разработке технологических процессов мойки обоснованно выбирать состав моющего раствора в зависимости от требуемой степени очистки изделий от загрязнений.

5. Производственная проверка полученных результатов проводилась в ряде предприятий ЧР по автомобилям ВАЗ, в первый раз поступающим на ремонт двигателя. Мойку деталей разобранного двигателя выполняли в одном из трех исследуемых 3%-х растворов: каустической соды, МС-8 и МС-8 с добавкой МБК концентрацией 5 г/л. Повышение ресурса отремонтированного двигателя при использовании для мойки деталей 3%-го раствора МС-8 с добавкой МБК концентрацией 5 г/л в сравнении с 3%-м раствором каустической соды составило 22,5%, в сравнении с 3%-м раствором МС-8 – 8,8%.

6. Для проверки возможности улучшения противокоррозионных свойств моющих средств получены зависимости скорости коррозии, ингибиторного эффекта и степени защиты стали Ст.45Х за 30 суток в 3%-м растворе NaCl в присутствии МЛ-51, Лабомида-203 и МС-8 концентрацией 3% без добавки и с добавкой МБК различной концентрации. Зависимости всех трех показателей достигают экстремума в зоне концентрации добавки, равной 5 г/л. При увеличении концентрации МБК свыше 5 г/л заметное повышение степени защиты растворов не наблюдается. Полученный результат подтвержден методом снятия потенциодинамических поляризационных кривых, коррозионно-усталостными испытаниями стали в растворе моющего средства МС-8 с добавкой 5 г/л МБК, как наиболее эффективного из проверенных ранее растворов СМС.

7. Решение двухкритериальной задачи обоснования параметров технологического процесса мойки позволило установить, что наилучшие моющие и противокоррозионные свойства достигаются при использовании 3%-го раствора МС-8 с добавкой МБК концентрацией 5 г/л температурой от 80 до 90°С при продолжительности 4,5-5 мин. Степень очистки поверхностей деталей в этом растворе достигает 97,9%, коррозионная стойкость (продолжительность времени до появления первых очагов коррозии на поверхности вымытых деталей) – 22,2 суток, что позволяет исключить

дополнительную консервационную обработку деталей в межоперационный период хранения.

8. При расчете экономической эффективности результатов исследования за базу для сравнения был принят первый вариант параметров технологического процесса (мойка в 3%-м растворе каустической соды). Экономический эффект достигается за счет увеличения ресурса отремонтированных двигателей на 21,5% (21 тыс. км), повышения производительности труда на 8% и снижения энергозатрат на разовый подогрев моющего раствора на 20,77 кВт·ч за счет снижения его температуры на 14-18°C при сохранении качества мойки. Расчетная величина экономического эффекта составляет 3604,00 руб. на один отремонтированный двигатель.

Рекомендации производству. Для повышения эффективности технологического процесса мойки при ремонте автомобилей, улучшения санитарно-гигиенических условий труда работников, сокращения энергозатрат по поддержанию оптимальной температуры моющего раствора рекомендуется использовать 3%-й раствор МС-8 с добавкой МБК концентрацией 5 г/л.

Перспективы дальнейшей разработки темы. С целью снижения негативного воздействия технологического процесса мойки на окружающую среду и здоровье работников, повышения качества мойки при снижении трудовых и материальных затрат необходимо продолжить исследования в данном направлении.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ

Публикации в изданиях SCOPUS, WEB OF SCIENCE

1. Fadeev I.V., Byshov N.V., Uspensky I.A., Sadetdinov Sh.V. Synergetic effect of bactericidal action of borates in solutions of synthetic detergents, Research journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences (ISSN: 0975-8585), 2019, no. 10(2), pp. 1441-1446.
2. Фадеев И.В. Изменение контактных углов смачивания при добавлении в моющие растворы поверхностно-активных веществ / И.В. Фадеев, Н.В. Бышов, И.А. Успенский, В.В. Алексеев // Инженерные технологии и системы. – 2019. – Т. 29, № 2. – С. 295-305.
3. Фадеев И.В. Ингибитор коррозии металлов для использования при ремонте автотракторной техники / И.В. Фадеев, Н.В. Бышов, С.Д. Полищук, Ш.В. Садетдинов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2019. – № 2. – С. 257-262.

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

4. Фадеев, И.В. Теоретические основы разработки новых ингибиторов коррозии для автотранспортного комплекса / И.В. Фадеев, А.М. Новоселов, Ш.В. Садетдинов // Вестник МАДИ. – 2014. – Вып. 4(39). – С. 17-21.
5. Фадеев, И.В. Новые моющие средства для узлов и агрегатов автотранспортных средств / И.В. Фадеев, Ш.В. Садетдинов // Автотранспортное предприятие. – 2014. – № 6. – С. 54-56.
6. Фадеев, И.В. Организация участка уборки и мойки мобильной техники / И.В. Фадеев, В.В. Белов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2015. – №25. – С. 140-144.
7. Фадеев, И.В. Влияние моноборатов лития, натрия, калия на моющие и

- противокоррозионные свойства синтетических моющих средств / И.В. Фадеев, Ш.В. Садетдинов // Приволжский научный журнал. – 2015. – №2. – С. 86-90.
8. Фадеев, И.В. Повышение коррозионной стойкости стали 10 / И.В. Фадеев, Ш.В. Садетдинов // Вестник МАДИ. – 2015. – Вып. 2(41). – С. 107-114.
9. Фадеев, И.В. Повышение противокоррозионных качеств моющих средств с применением амидоборатных соединений на автомобильном транспорте / И.В. Фадеев, А.Н. Ременцов, Ш.В. Садетдинов // Грузовик. – 2015. – № 4. – С. 13-16.
10. Фадеев, И.В. Новые боратсодержащие присадки к моющим средствам для узлов и агрегатов транспортных средств / И.В. Фадеев, Ш.В. Садетдинов // Автотранспортное предприятие. – 2015. – № 2. – С. 46-50.
11. Фадеев, И.В. Применение тетраборатов лития, натрия, калия в качестве экологически чистых добавок к моющим средствам / И.В. Фадеев, В.В. Белов, Ш.В. Садетдинов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2015. – №21. – С. 52-55.
12. Фадеев, И.В. Экологически безвредный материал для защиты сельскохозяйственной техники от коррозии / И.В. Фадеев, Н.Н. Белова, Ш.В. Садетдинов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2015. – №21. – С. 56-59.
13. Фадеев, И.В. Повышение противокоррозионных свойств технических моющих средств с применением амидоборатных соединений / И.В. Фадеев, А.Н. Ременцов, Ш.В. Садетдинов // Грузовик. – 2015. – №4. – С. 17-21.
14. Фадеев, И.В. Моющие и противокоррозионные свойства синтетических моющих средств для узлов и деталей в присутствии некоторых боратов / И.В. Фадеев, А.Н. Ременцов, Ш.В. Садетдинов // Грузовик. – 2016. – № 6. – С. 17-20.
15. Фадеев, И.В. Синергетический эффект пентаборатов лития, натрия и калия в присутствии аминоспиртов в синтетических моющих средствах / И.В. Фадеев, Ш.В. Садетдинов // Вестник МАДИ. – 2016. – Вып. 3(46). – С. 107-114.
16. Фадеев, И.В. Выбор рационального режима мойки деталей, узлов и агрегатов транспортных средств / И.В. Фадеев, Ш.В. Садетдинов // Автотранспортное предприятие. – 2016. – № 5. – С. 28-31.
17. Фадеев, И.В. К расчету продолжительности мойки загрязненных деталей / И.В. Фадеев, В.В. Белов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2016. – №27. – С. 5-8.
18. Фадеев, И.В. Аммиак – ингибитор коррозии черных металлов / И.В. Фадеев, В.В. Белов, И.Н. Смолина // Известия Международной академии аграрного образования. – 2016. – №26. – С. 21-24.
19. Фадеев, И.В. Моющие и противокоррозионные свойства синтетических моющих средств для узлов и деталей в присутствии некоторых боратов / И.В. Фадеев, А.Н. Ременцов, Ш.В. Садетдинов // Грузовик. – 2017. – №1. – С. 17-20.
20. Фадеев, И.В. Разработка композиции технологической жидкости для увеличения долговечности деталей и узлов транспортных средств / И.В. Фадеев, А.Н. Ременцов, С.М. Мороз, Ш.В. Садетдинов // Вестник МАДИ. – 2017. – Вып. 3(50). – С. 90-97.
21. Фадеев, И.В. Эксплуатационная надежность транспортного средства, агрегатов и систем / И.В. Фадеев, В.В. Белов, П.В. Зайцев, О.Г. Огнев // Известия Международной академии аграрного образования. – 2015. – №37. – С. 9-15.

22. Фадеев, И.В. Противокоррозионный раствор для повышения долговечности автотранспортных средств / И.В. Фадеев, А.Н. Ременцов, Ш.В. Садетдинов // Вестник МАДИ. – 2018. – Вып. 1(52). – С. 90-97.
23. Фадеев, И.В. Влияние загрязнений на долговечность дизельного двигателя / И.В. Фадеев // Грузовик. – 2018. – №10. – С. 15-20.
24. Фадеев, И.В. Повышение противокоррозионных свойств растворов синтетических моющих средств для мойки деталей / И.В. Фадеев, Н.В. Бышов, Г.А. Александрова, Ш.В. Садетдинов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2019. – № 45. – С. 20-24.

Монографии

25. Фадеев, И.В. Трехкомпонентные водные системы борной кислоты и боратов с некоторыми кислотами и их солями: монография / И.В. Фадеев, Ш.В. Садетдинов. – Чебоксары: Волжский филиал МАДИ, 2015. – 142 с.
26. Фадеев, И.В. Разработка синтетических моющих средств на основе боратов для очистки поверхности металла: монография / И.В. Фадеев, Ш.В. Садетдинов, И.Е. Илларионов. – Чебоксары: Волжский филиал МАДИ, 2016. – 185 с.
27. Фадеев, И.В. Совершенствование технологического процесса мойки деталей при ремонте узлов и агрегатов транспортных средств: монография / И.В. Фадеев. – Чебоксары: Волжский филиал МАДИ, 2018. – 284 с.
28. Фадеев, И.В. Системы из боратов аммония с некоторыми солями, аминами и амидами: монография / И.Е. Илларионов, Ш.В. Садетдинов, И.В. Фадеев. Под общ. ред. И.Е. Илларионова. – Чебоксары: Изд-во Чувашского гос. ун-та им. И.Н. Ульянова, 2019. – 199 с.

Патенты на изобретения

29. Ингибитор коррозии для грунтовок по металлу: пат. 2572125 Рос. Федерация: МПК С 09 D 5/08, С 01 В 35/12, С 01 В 35/18, С 01 G 37/00/ Фадеев И.В., Садетдинов Ш.В., Новоселов А.М.; заявитель и патентообладатель Фадеев И.В. – №2014113529/05; заявл. 07.04.14; опубл. 27.12.15, Бюл. №29.
30. Раствор для получения магнетитных покрытий на стали: пат. 2614504 Рос. Федерация: МПК С 23 С 22/62, С 23 С 22/68, С 23 F 11/18/ Илларионов И.Е., Фадеев И.В., Садетдинов Ш.В.; заявитель и патентообладатель Чувашский гос. ун-т – №2015157505; заявл. 31.12.15; опубл. 28.03.17, Бюл. №10.
31. Моющее средство для очистки деталей, узлов и агрегатов транспортных средств: пат. 2620593 Рос. Федерация: МПК С 11 D 1/72, С 11 D 3/06, С 11 D 3/10, С 11 D 3/08/ Фадеев И.В.; заявитель и патентообладатель Фадеев И.В. – №2016116194/04; заявл. 25.04.16; опубл. 29.05.17, Бюл. №16.
32. Моющая композиция для очистки металлических поверхностей: пат. 2629023 Рос. Федерация: МПК С 11 D 3/06, С 11 D 3/30, С 11 D 3/37, С 11 D 1/04/ Илларионов И.Е., Фадеев И.В., Ременцов А.Н., Садетдинов Ш.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Чувашский гос. ун-т им. И.Н. Ульянова». – №2016143245/04; заявл. 02.11.16; опубл. 24.08.17, Бюл. №24.

Публикации в журналах, сборниках научных трудов, материалах научных конференций

33. Фадеев, И.В. Экологически безвредные добавки к синтетическим моющим средствам для мойки деталей / И. В. Фадеев, Ш.В. Садетдинов // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного

- транспорта: материалы 73-й науч.-методич. и науч.-исслед. конференции МАДИ. Сб. науч. трудов. – М.: МАДИ, 2015. – С. 219-224.
- 34.Фадеев, И.В. Эффективные моющие средства для мойки агрегатов и деталей мобильной техники / И. В. Фадеев, Ш.В. Садетдинов // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: материалы 74-й науч.-методич. и науч.-исслед. конференции МАДИ. Сб. науч. трудов. – М.: МАДИ, 2016. – С. 183-188.
- 35.Фадеев, И.В. Раствор для защиты поверхностей металлических изделий от коррозии в период временного хранения / И. В. Фадеев // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: материалы 74-й науч.-методич. и науч.-исслед. конференции МАДИ. Сб. науч. трудов. – М.: МАДИ, 2016. – С. 189-192.
- 36.Фадеев, И.В. Исследование свойств синтетических моющих средств / И.В. Фадеев, И.Н. Смолина, О.В. Якимова // материалы международной науч.-практич. конференции. – Уфа: МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2016.
- 37.Фадеев, И.В. Определение рациональной концентрации синтетических моющих средств в растворах для мойки деталей, узлов и агрегатов / И.В. Фадеев, И.Н. Смолина // Проблемы эксплуатации автомобильного транспорта и пути их решения на основе современных информационно-коммуникационных и энергосберегающих технологий: материалы международной заочной науч.-практич. конференции – Воронеж, 2016. С. 169-173.
- 38.Фадеев, И.В. Влияние температуры растворов СМС на их моющую способность/ И.В. Фадеев, А.Ю. Ефремов // Техника, дороги и технологии: перспективы развития: материалы 8-й студенч. науч.-технич. конференции им. Н.В. Попова. – Чебоксары: Изд-во Волжского филиала МАДИ, 2016. – С. 12-19.
- 39.Фадеев, И.В. К расчету продолжительности мойки загрязненных деталей / И.В. Фадеев, В.С. Павлов // Современное состояние прикладной науки в области механики и энергетики: материалы Всероссийской науч.-практич. конференции. – Чебоксары: Изд-во Чувашской ГСХА, 2016. – С. 386-391.
- 40.Фадеев, И.В. Зависимость степени очистки загрязненных деталей от концентрации синтетических моющих средств в водных растворах / И.В. Фадеев // Современное состояние прикладной науки в области механики и энергетики: материалы Всероссийской науч.-практич. конференции. – Чебоксары: Изд-во Чувашской ГСХА, 2016. – С. 391-396.
- 41.Фадеев, И.В. Повышение моющих и противокоррозионных свойств растворов синтетических моющих средств для мойки узлов, агрегатов и деталей транспортных средств / И.В. Фадеев // Наука, производство, образование: состояние и перспективы: материалы Всероссийской науч.-практич. конференции. – Чебоксары: Изд-во ЧГПУ им. И.Я. Яковлева, 2017. – С. 27-34.
- 42.Фадеев, И.В. К вопросу снижения энергозатрат при мойке агрегатов, узлов и деталей в ремонтном производстве / И. В. Фадеев // Дорожно-транспортный комплекс: состояние, проблемы и перспективы развития: материалы 9-й науч.-технич. конференции. – Чебоксары: Изд-во Волжского филиала МАДИ, 2017. – С. 225-236.
- 43.Фадеев, И.В. Ингибитор коррозии для растворов синтетических технологических средств / И. В. Фадеев, Н.В. Бышов // Перспективы развития механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного

производства: материалы Всероссийской науч.-практич. конференции. – Чебоксары: ЧГСХА, 2019. – С. 411-417.

44.Фадеев, И.В. К вопросу улучшения свойств синтетических моющих средств для мойки деталей мобильной техники / И. В. Фадеев, Н.В. Бышов // Наука, производство, образование: состояние и направления развития: сб. науч. тр. по матер. Всероссийской науч.-практич. конференции. – Чебоксары: ЧГПУ им. И.Я. Яковлева, 2019. – С. 23-29.

45. Фадеев, И.В. Мойка деталей при ремонте автомобилей с применением нового соединения/ И. В. Фадеев, А.Н. Ременцов // Наука, производство, образование: состояние и направления развития: сб. науч. тр. по матер. Всероссийской науч.-практич. конференции. – Чебоксары: ЧГПУ им. И.Я. Яковлева, 2019. – С. 74-79.

Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная

Усл. печ. л. 2. Тираж 100 экз. Заказ № 1432

подписано в печать 23.09.2019 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 РГТУ

390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1