

*На правах рукописи*



**СТЕПАНОВА ЕКАТЕРИНА ИВАНОВНА**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОЙКИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ  
РЕМОНТЕ МАШИН В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ  
КОМПЛЕКСЕ**

Специальность 4.3.1 Технологии, машины и оборудование для  
агропромышленного комплекса

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Рязань – 2024

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

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор  
**Шемякин Александр Владимирович**

**Официальные  
оппоненты**

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

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

**Ведущая  
организация:**

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

Защита диссертации состоится «20» июня 2024 года в 10.00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.031.01 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по адресу 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, зал заседаний диссертационного совета.

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

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

доктор технических наук, профессор

Юхин Иван Александрович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Одной из важнейших операций при техническом обслуживании и ремонте машин и оборудования является очистка поверхностей агрегатов, узлов и деталей от различных загрязнений. Наибольший эффект при этом обеспечивают синтетические моющие средства (СМС) за счет содержащихся в них поверхностно-активных веществ (ПАВ). Процессы мойки и очистки загрязненных агрегатов, узлов и деталей способствуют улучшению санитарных условий и повышению экологичности технологических процессов ремонта.

Очистка является энерго- и ресурсоемким процессом, требующим огромное количество воды, моющих средств и электроэнергии. В настоящее время повышаются требования к экономии ресурсов, санитарно-гигиеническим условиям труда, охране окружающей среды, что напрямую можно отнести к процессу очистки деталей.

СМС, которые выпускаются промышленностью и используются в настоящее время на различных предприятиях, занятых ремонтом автомобилей, не обладают достаточными моющими и ингибиторными свойствами, они негативно влияют на здоровье людей и природу, потому что в их состав входят токсичные вещества. К ним, в первую очередь, можно отнести хроматы, присутствие которых улучшает противокоррозионные свойства СМС.

Высокоэффективный процесс мойки деталей способствует повышению качества ремонта, ресурса отремонтированных агрегатов автомобилей (на 20-30%), производительности труда ремонтных работ (до 8%), снижению трудовых и материальных затрат и отрицательного воздействия на здоровье людей, окружающую природу.

На основании вышеизложенного можно сформулировать вывод, что совершенствование процесса мойки деталей при ремонте автомобилей в сельском хозяйстве является важной и **актуальной** задачей.

**Степень разработанности темы исследования.** В процессе работы машин наружные поверхности агрегатов и поверхности деталей внутри агрегатов и систем покрываются различными загрязнениями. Загрязнения отрицательно влияют на рабочие характеристики узлов машин: способствуют снижению мощности двигателя, перерасходу топлива и масел, ухудшают работу радиаторов, фильтров, повышают абразивный износ трущихся частей, что приводит к нарушению посадок в сопряжениях. В результате снижается ресурс агрегатов и машин в целом.

Большое внимание вопросам повышения межремонтного ресурса агрегатов машин и совершенствования процесса мойки деталей при ремонте техники в своих исследованиях уделяли и уделяют российские ученые

Н.В. Бышов, А.В. Шемякин, И.А. Успенский, П.А. Ребиндер, Ю.С. Козлов, Н.Ф. Тельнов, Г.П. Дегтерев, В.М. Приходько, В.И. Карагодин, И.Н. Кравченко, А.В. Дорохов, Ю.В. Катаев, В.П. Лялякин, Ш.В. Садетдинов, И.В. Фадеев, И.А. Юхин, а также зарубежные ученые L. Yang, K.S. Rojagoplan и многие другие.

В последние годы в ФГБОУ ВО РГАТУ активизировались комплексные исследования по совершенствованию процессов мойки и защиты от коррозии деталей при ремонте агрегатов машин. По этой тематике защищен ряд диссертаций, изданы научные труды и статьи.

Решение задачи совершенствования процесса мойки деталей позволяет повысить экологичность процесса ремонта агрегатов автомобилей и самой мойки, производительность труда, качество дефектовки деталей и ремонта агрегатов, ресурс агрегатов, улучшить условия труда, способствует экономии трудовых и материальных затрат при ремонте агрегатов автомобилей.

**Цель исследования** – увеличение межремонтного ресурса агрегатов автомобилей в процессе ремонта.

Повышение ресурса узлов и агрегатов автомобилей в процессе ремонта во многом зависит от эффективности процесса мойки, что в свою очередь определяется степенью очистки деталей, которая зависит от режима, способа мойки, средств и оборудования. Их выбор определяется видом загрязнений, размерами, материалом деталей и другими факторами.

Основываясь на вышеизложенном, можно сформулировать следующие **задачи**, решение которых обеспечит достижение поставленной цели:

1. Определить резервы увеличения межремонтного ресурса агрегатов автомобилей в процессе их ремонта за счет совершенствования процесса мойки деталей.

2. Повысить степень очистки и коррозионную стойкость вымытых деталей за счет дополнительной активизации свойств моющего раствора введением специальной добавки.

3. Экспериментальным путем изучить зависимость моющих и противокоррозионных свойств раствора от концентрации активизирующей добавки, определить ее рациональную концентрацию.

4. Получить уравнение зависимости степени очистки деталей от соотношения концентраций компонентов моющего раствора.

5. Провести производственную проверку результатов лабораторных исследований и ее технико-экономическую оценку.

**Объект исследования:** процесс очистки поверхностей деталей воздействием струи моющего раствора.

**Предмет исследования.** Состав и свойства моющих растворов.

### **Научная новизна работы:**

- определены резервы увеличения межремонтного ресурса агрегатов автомобилей в процессе их ремонта совершенствованием процесса мойки деталей;
- повышены показатели мойки СМС «Темп-100» за счет введения в его раствор активизирующей добавки;
- экспериментально доказана зависимость и получены уравнения зависимости моющих и противокоррозионных свойств раствора от концентрации активизирующей добавки;
- экспериментальным и расчетным путями определена рациональная концентрация активизирующей добавки в моющем растворе;
- получено уравнение, отражающее влияние соотношения концентраций компонентов раствора на степень очистки деталей.

### **Теоретическая и практическая значимость работы.**

**Теоретическая значимость.** Доказана эффективность пентабората аммония (ПБА) в качестве добавки для повышения оценочных свойств СМС; установлены закономерности изменения свойств СМС от концентрации активизирующей добавки в его растворе; обоснована рациональная концентрация добавки в моющем растворе; получено уравнение, позволяющее заблаговременно определить концентрации компонентов моющего раствора для достижения требуемой степени очистки деталей.

**Практическая значимость.** По результатам исследований получен патент РФ на изобретение №2777442 «Средство для мойки деталей транспортных средств». Результаты работы внедрены и используются в ремонтном производстве ООО «Рассвет» Рязанской области.

**Методы исследований.** Исследования проводились с использованием элементов математического моделирования, теории планирования экспериментов, корреляционного и регрессионного анализа, а также математической статистики.

Лабораторные и производственные исследования проводились с использованием собственных методик. Моющие свойства раствора и активизирующей добавки изучались на оригинальной лабораторной установке (собственного изготовления) и определялись гравиметрическим методом. Ингибиторные свойства моющего раствора и активизирующей добавки исследовали гравиметрическим, электрохимическим методом и коррозионно-усталостными испытаниями.

### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Повышение свойств СМС «Темп-100» введением в его раствор активизирующей добавки.

2. Уравнения, отражающие зависимость моющих и ингибиторных свойств раствора от концентрации активизирующей добавки.

3. Уравнение, отражающее влияние соотношения концентраций компонентов раствора на степень очистки деталей.

4. Результаты проверки результатов исследований в условиях производства.

**Степень достоверности результатов исследования.** Обеспечена современными методами моделирования и обработки результатов экспериментов, применением средств измерений, соответствующих метрологическим требованиям. Сходимость результатов теоретических и экспериментальных исследований составляет 98%.

**Апробация результатов исследования.** Материалы работы обсуждались и одобрены на различных научно-практических конференциях *международных*: «Инновации в сельскохозяйственном машиностроении, энергосберегающие технологии и повышение эффективности использования ресурсов» (г. Рязань, ФГБОУ ВО РГАТУ, 2022 г.), *национальных с международным участием*: «Развитие научно-ресурсного потенциала аграрного производства: приоритеты и технологии» (г. Рязань, ФГБОУ ВО РГАТУ, 2021 г.), «Научно-инновационные аспекты аграрного производства: перспективы развития» (г. Рязань, ФГБОУ ВО РГАТУ, 2022 г.), *национальных*: «Современное состояние и перспективы развития механизации сельского хозяйства и эксплуатации транспорта» (г. Рязань, ФГБОУ ВО РГАТУ, 2021 г.), «Актуальные вопросы транспорта и механизации в сельском хозяйстве» (г. Рязань, ФГБОУ ВО РГАТУ, 2022 г.), «Современное состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса Российской Федерации» (г. Рязань, ФГБОУ ВО РГАТУ, 2022 г.).

**Личный вклад соискателя.** Соискателем разработана методика дополнительной активизации свойств моющего раствора введением специальной добавки, поставлены эксперименты, обработаны и проанализированы их результаты, организовано внедрение разработанного раствора.

**Публикации.** По теме диссертации соискатель опубликовал 15 работ: 8 статей в изданиях, рекомендованных ВАК, 1 монография, получен патент РФ на изобретение №2777442 «Средство для мойки деталей транспортных средств», с общим объемом 18,55 усл. п. л., в т. ч. на долю автора приходится 7,1 усл. п. л.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 128 наименований, включающий

4 наименования на иностранных языках, и приложения. Диссертация изложена на 155 страницах, содержит 30 таблиц и 41 рисунок.

## 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 вопроса очистки деталей агрегатов машин и его анализ»* проведен анализ современных способов, установок и средств для мойки деталей агрегатов машин, раскрыты их преимущества и недостатки, рассмотрены и определены основные причины отложения загрязнений на деталях машин, приведены характеристики по видам загрязнений и наиболее применяемым для мойки деталей СМС.

Наличие загрязнений на поверхностях деталей снижает качество работы машин по функциональному назначению, их эксплуатационные показатели, ресурс на 20-30%. Полное удаление загрязнений улучшает качество дефектации, восстановления деталей, санитарные условия труда работников, снижает появление брака и на 6-8% повышает производительность труда на разборочных и сборочных операциях.

В настоящее время наибольшее распространение получили химический, физико-химический, электрохимический, ультразвуковой, термический и механический способы очистки.

Физико-химический способ (струйный и в ваннах) является наиболее применяемым в ремонтном производстве предприятий АПК и заключается в удалении загрязнений с поверхностей деталей водными растворами различных препаратов или специальными растворителями при определенных режимах. Условия высококачественной физико-химической очистки водными растворами: высокая температура моющего химического раствора (75-95°C), вибрирующий поток или струя при значительном давлении и эффективные моющие средства.

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

Проведенный анализ позволяет констатировать, что самыми перспективными и используемыми из имеющихся технологий мойки являются технологии с применением струи воды высокого давления.

В ремонтном производстве предприятий АПК мойку деталей выполняют в растворах синтетических моющих средств (СМС). Их действие основано на растворении, адсорбции, эмульгировании, диспергировании загрязнений и других процессах.

Наиболее приемлемым средством для мойки деталей двигателей в ремонтном производстве предприятий сельскохозяйственного назначения является СМС (техническое) «Темп-100» (ТУ 2149-133-10968286-2001), который представляет собой смесь ПАВ, неорганических солей, модифицирующих добавок и пассиваторов. Его основными компонентами являются: синтанол ДС-10, оксифос или эстефат, тринатрийфосфат, метасиликат натрия, карбонат натрия и сульфат натрия. Предназначен для удаления различных загрязнений при ТО и ремонте тракторов, автомобилей, их агрегатов и деталей от масляных и асфальто-смолистых загрязнений, окислов, сажисто-углеродистых, атмосферных и эксплуатационных загрязнений в моечных установках струйного типа. Недостатки этого моющего средства – невысокая скорость очистки, низкие моющие и ингибиторные свойства, низкая степень очистки при удалении асфальто-смолистых отложений, большая энергоемкость мойки, повышенное пенообразование при концентрации выше 35 г/л и при снижении температуры ниже 70°С и другие.

В связи с изложенным используемые в настоящее время СМС, в т. ч. и «Темп-100», нуждаются в улучшении моющих и противокоррозионных свойств. При разработке их рецептур следует применять системный подход, учитывающий экологичность получаемых составов.

***Во второй главе «Теоретическое обоснование необходимости повышения ресурса агрегатов машин при ремонте»*** проведены теоретические исследования влияния совершенствования процесса мойки деталей при ремонте на ресурс агрегатов машин.

По мере эксплуатации машины её элементы подвергаются естественным процессам изнашивания, накопления усталостных повреждений, различным деформациям и процессам старения, что приводит к сокращению ресурса машины в целом. Для поддержания ресурса проводят ТО и ремонт машин, что предусматривает мойку агрегатов, узлов и деталей. Совершенствование процесса мойки подразумевает улучшение степени очистки и противокоррозионной защиты деталей, реализуемое в настоящей работе использованием более эффективного состава моющего средства, что способствует повышению межремонтного ресурса отремонтированного агрегата.

Процесс мойки представляет собой комплекс параллельно-последовательных физико-химических и физико-механических процессов, в основе которых лежат явления смачивания, адсорбции, диспергирования и др.

Первой фазой любого процесса отмыывания 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.

Для смачивания и последующего удаления гидрофобных частиц загрязнений моющая жидкость должна содержать ПАВ и специальные добавки. Степень очистки загрязненных поверхностей деталей повышается за счет использования моющих растворов со специальными добавками с высокими смачивающими свойствами, которые уменьшают краевой угол смачивания  $\theta$ .

Процесс мойки деталей включает четыре этапа (рис. 1):

- 1) раствор моющего средства смачивает загрязнение, проникает в трещины и поры загрязнения (рис. 1, 1));
- 2) частицы загрязнения переходят в раствор (рис. 1, 2));
- 3) молекулы моющего средства обволакивают частицы загрязнения препятствуя укрупнению частиц и оседанию их на поверхности деталей (рис. 1, 3));
- 4) стабилизация частиц загрязнения во взвешенном состоянии в моющем растворе и последующее их удаление (рис. 1, 3)).

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.

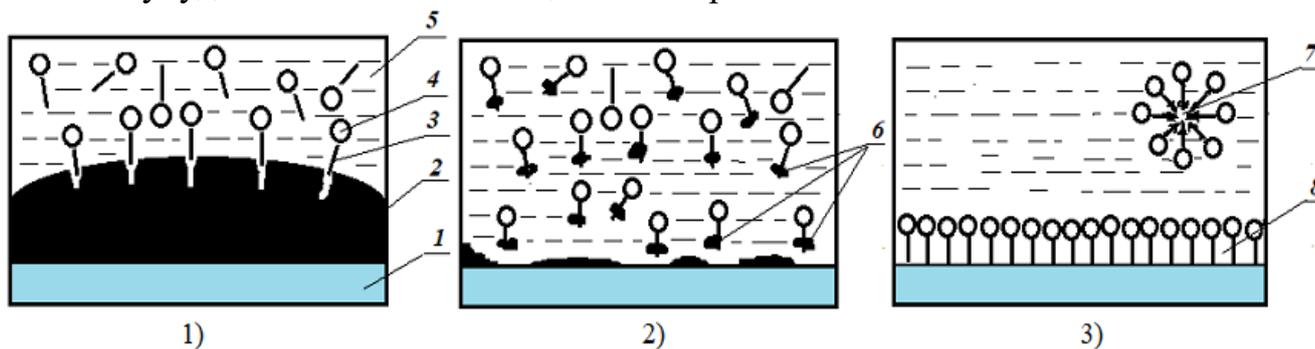


Рисунок 1 – Этапы процесса мойки деталей:

1 – очищаемая поверхность; 2 – загрязнение; 3 – гидрофобная часть молекулы ПАВ (радикал); 4 – гидрофильная часть молекулы ПАВ; 5 – моющий раствор; 6 – перевод частиц загрязнения в раствор; 7 – частицы загрязнения, стабилизированные в растворе; 8 – адсорбированные молекулы ПАВ на очищенной поверхности

Загрязнение на поверхности металла условно можно разделить на три слоя:

- наружный слой, включающий легко-отделимые примеси;

- средний слой, более плотный, требующий применения специальных устройств для очистки;
- внутренний слой, самый плотный, требующий для очистки применения СМС и различных добавок к ним.

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

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

где  $P$  – сила удара струи, Н;  $m_0$  – масса жидкости за секунду, кг/с;  $\omega_0$  – живое сечение набегающей струи, м<sup>2</sup>;  $\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $v_0$  – скорость потока (скорость истечения воды из сопла), м/с;  $\alpha$  – угол оттекания струи от точки встречи с преградой, рад.

Сила удара струи (ударный импульс), следовательно, и эффективность водоструйной мойки зависят от скорости потока  $v_0$ , определяемой по формуле:

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

где  $\varphi = 0,475 - 0,98$  – коэффициент скорости, зависящий от типа насадки и формы отверстия;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $H$  – напор воды, м.

Расход воды через сечение насадки  $d$  определяется по выражению (3):

$$Q = \frac{\pi d^2 v_0}{4 \cdot 1000}, \quad (3)$$

Как следует из выражения (3), уменьшая диаметр сопла  $d$  и увеличивая скорость истечения воды  $v_0$  (повышением 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. 2.

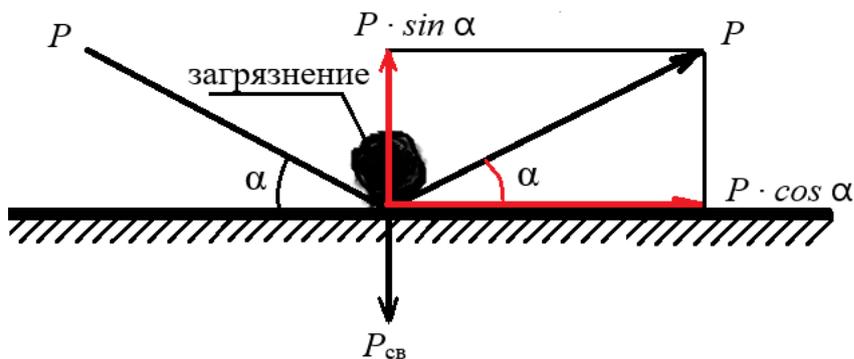


Рисунок 2 – Схема сил струи жидкости, действующих на частицу загрязнения

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

$$P \cdot \sin \alpha \gg P_{\text{св.}} \quad (4)$$

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

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

$$C_{\text{оч.}} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100\%, \quad (5)$$

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

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

На оба показателя моющего средства влияет его концентрация в растворе, а моющая способность зависит также от температуры раствора, продолжительности мойки, вида и степени загрязнения.

**В третьей главе «Методика лабораторных и производственных экспериментов»** описываются методики проведения лабораторных и производственных экспериментов по определению моющих и противокоррозионных свойств исследуемой композиции моющего раствора гравиметрическим, электрохимическим методами и коррозионно-усталостными испытаниями. Для производственных испытаний была разработана методика оценки противокоррозионных свойств растворов с фиксацией продолжительности времени с момента завершения мойки деталей до появления на их поверхности первых очагов коррозии.

Исследования моющих свойств растворов проводились на лабораторной моечной установке. В качестве образцов использовались шлифованные с одной стороны пластины из стали 45Х размером 100×30×2 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, шлифованную сторону образцов модельного загрязнения равномерным слоем; выдерживание образцов на воздухе в течение 30 мин; взвешивание образцов с загрязнением; заполнение ванны моечной установки водой, подогрев до температуры 85-90°С и постепенное добавление моющего средства и активизирующей добавки; размещение образцов в моечную

установку; определение моющей способности раствора весовым методом при продолжительности процесса мойки 5 мин.

Коррозионные потери металла определяли весовым методом по убыли массы образцов в процессе эксперимента, используя формулу (6):

$$K = \frac{M_1 - M_2}{P \cdot T} \times 10000 \times 8760, \quad (6)$$

где  $M_1$ ;  $M_2$  – масса образцов до и после экспериментов, г;

$P$  – площадь образца, см<sup>2</sup>;

$T$  – продолжительность выдержки образцов в электролите, ч.

10000 – коэффициент перевода квадратного метра в квадратные сантиметры;

8760 – продолжительность времени года в часах (24×365).

Коррозионно-электрохимические исследования проводили по общепринятой методике с использованием потенциостата П-5848, 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. Ингибиторные свойства ПБА в растворе «Темп-100» также изучали по плотности анодного тока и методом снятия потенциодинамических поляризационных кривых.

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

При изучении зависимости степени очистки деталей от соотношения концентраций компонентов рассматривались моющие растворы на основе СМС «Темп-100» с ПБА в различных соотношениях концентраций. Была составлена матрица планирования полного факторного эксперимента с двумя факторами, где было предусмотрено одновременное изменение концентраций «Темп-100» и ПБА. Моющая способность растворов выражалась степенью очистки образцов от модельного загрязнения, которую определяли по формуле (5).

**В четвертой главе «Результаты лабораторных исследований»** проведены лабораторные исследования по определению рациональной концентрации ПБА в 7%-м растворе «Темп-100», которые показали, что при увеличении концентрации ПБА до 5 г/л степень очистки образцов повышается интенсивно до 97,28%, затем при дальнейшем увеличении концентрации ПБА до 6 г/л степень очистки образцов повышается незначительно (на 0,4%) (рис. 3).

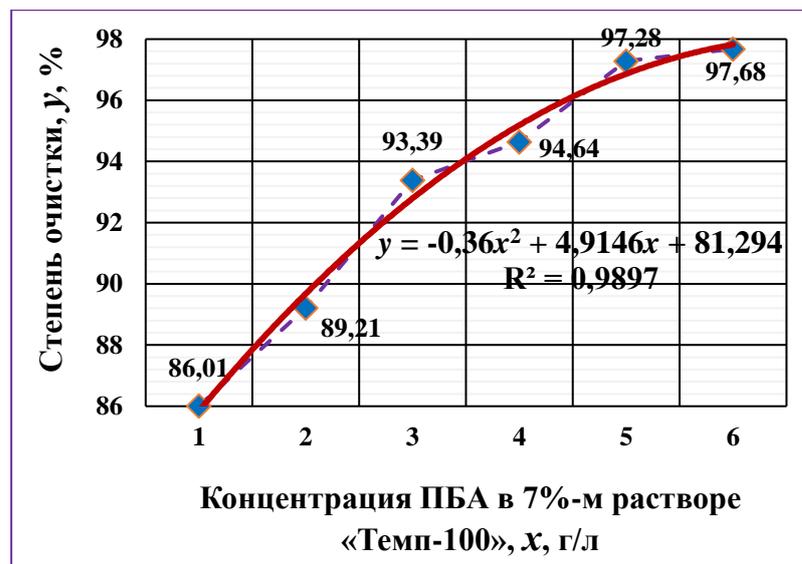


Рисунок 3 – Влияние концентрации ПБА в 7%-м растворе «Темп-100» на степень очистки образцов при температуре раствора 85-90°C и продолжительности мойки 5 мин

Следовательно, концентрация ПБА 5 г/л в 7%-м растворе «Темп-100» будет рациональной.

Для подтверждения или отклонения гипотезы о возможности повышения ингибиторных показателей моющего средства «Темп-100» было изучено влияние концентрации ПБА на скорость коррозии, ингибиторный эффект, степень защиты стали 45X за 30 суток в 3%-м растворе NaCl в присутствии СМС «Темп-100» концентрацией 7% (рис. 4). Результаты подтвердили, что в 3%-м растворе NaCl лучшие противокоррозионные свойства проявляет 7%-й раствор «Темп-100» с добавкой ПБА концентрацией 5 г/л. Это подтверждается тем, что скорость коррозии стали 45X при этом минимальна ( $13,57 \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot 10^{-3}$ ), ингибиторный эффект и степень защиты от коррозии стали 45X имеют максимальные значения (2,23 и 55,24%, соответственно).

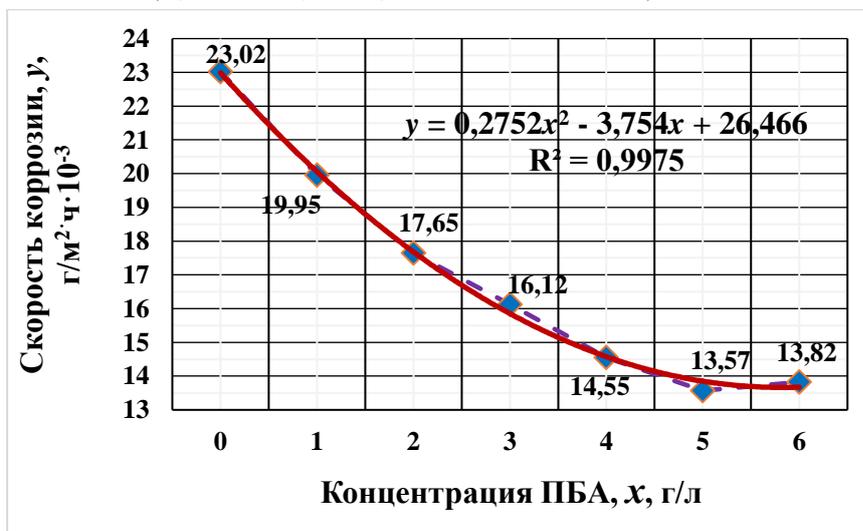


Рисунок 4 – Зависимость скорости коррозии стали 45X в 3%-м растворе NaCl в присутствии «Темп-100» концентрацией 7% от концентрации ПБА за 30 суток

Электрохимические исследования ингибиторных свойств ПБА с использованием потенциостата П-5848 показали, что ПБА концентрацией 5 г/л в 7%-м растворе «Темп-100» снижает плотность анодного тока, следовательно, и скорость разрушения стали. Это подтверждает, что раствор «Темп-100» с добавкой 5 г/л ПБА имеет более высокие ингибиторные свойства (табл. 1).

Таблица 1 – Влияние ПБА в 7%-м растворе «Темп-100» на изменение плотности анодного тока при различных значениях потенциала стали 45Х

Концентрация ПБА в 7%-м растворе «Темп-100», г/л	Плотность анодного тока ( $i_a$ ), мкА/см <sup>2</sup> , в пассивной области при различных значениях потенциала стали (E, В по х.с.э.)				
	E = 0,0В	E = 0,2В	E = 0,4В	E = 0,6В	E = 0,6В
0	4,0	4,4	4,7	4,8	4,8
5	2,3	2,6	2,9	3,1	3,1

Зависимость коррозионно-электрохимического поведения стали 45Х от присутствия ПБА в 7%-м растворе «Темп-100» изучено методом снятия потенциодинамических поляризационных кривых (рис. 5).

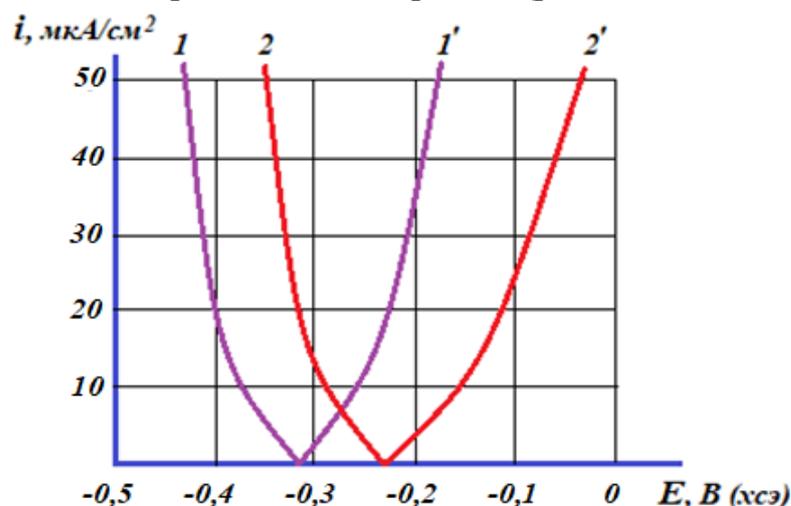


Рисунок 5 – Анодные и катодные потенциодинамические поляризационные кривые стали 45Х в 7%-м растворе СМС «Темп-100»: без добавки ПБА – 1-1'; с добавкой ПБА – 2-2'

Из рис. 5 видно, что раствор «Темп-100» в присутствии ПБА концентрацией 5 г/л имеет лучшие противокоррозионные свойства, чем без ПБА. Это можно объяснить тем, что в растворе «Темп-100» с ПБА потенциал начала растворения металла (кривая 2-2') смещен в более положительную сторону относительно потенциала коррозии (кривая 1-1') в растворе «Темп-100» без ПБА. В растворе «Темп-100» с добавкой ПБА на поверхности детали формируется тонкая защитная оксидная пленка, что вызывает пассивацию стали.

Противокоррозионные свойства ПБА в производственных условиях определяли по продолжительности времени с момента завершения мойки в

исследуемом растворе до появления первых очагов коррозии на поверхности деталей. Мойку деталей проводили в 7%-м растворе «Темп-100» с добавкой ПБА концентрацией 1,0, 2,0, 3,0, 4,0, 5,0 и 6,0 г/л (рис. 6).

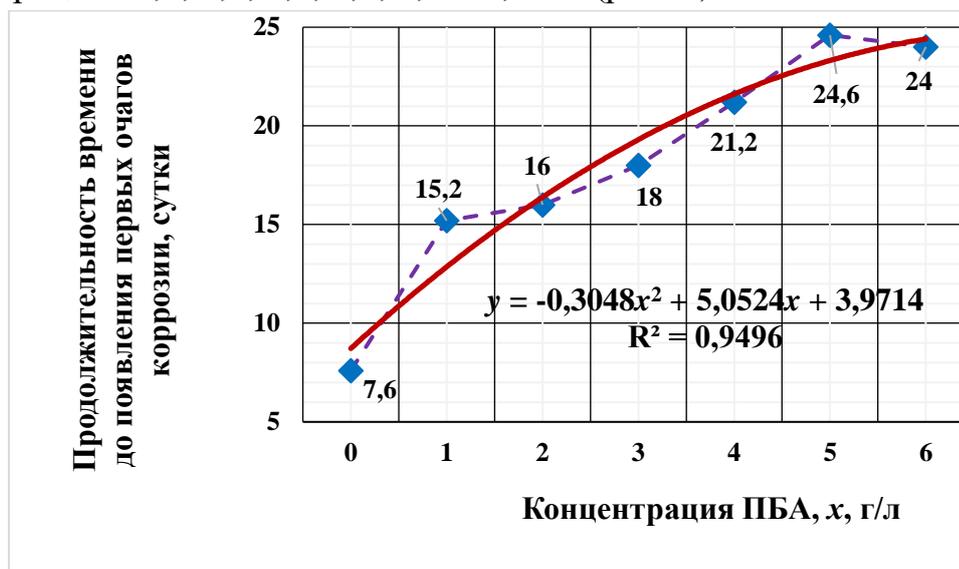


Рисунок 6 – Влияние концентрации ПБА на противокоррозионные свойства 7%-го раствора «Темп-100» в производственных условиях

Из рис. 6 видно, что лучшие противокоррозионные свойства 7%-го раствора «Темп-100» проявляются в присутствии ПБА концентрацией 5 г/л, следовательно, концентрация ПБА 5 г/л в 7%-м растворе «Темп-100» является рациональной.

Эксперименты по исследованию зависимости степени очистки от соотношения концентраций «Темп-100» и ПБА в растворе проведены с использованием разработанной матрицы в соответствии с планом эксперимента  $N = 2^2$ . При этом  $x_1$  – концентрация «Темп-100», %;  $x_2$  – концентрация ПБА, г/л.

Полученное уравнение регрессии  $y = 97,375 + 0,125x_1 + 0,75x_2 + 0,25x_1x_2$  позволяет при разработке процессов мойки заблаговременно определить концентрации компонентов моющего раствора для достижения требуемой степени очистки изделий.

**В пятой главе «Производственная проверка результатов исследований и расчет экономического эффекта»** приведены методика и результаты испытаний разработанного состава в условиях ремонтного производства ООО «Рассвет» Клепиковского района Рязанской области, обоснование выбора объекта подконтрольной эксплуатации – марки автомобиля и его двигателя. На учет принимались автомобили УАЗ-3303, в первый раз поступающие на ремонт двигателя ЗМЗ-40911.10. В ходе технологического процесса ремонта мойку деталей разобранных двигателей выполняли в моечной машине АМ1000 АК, используя 7%-е растворы «Темп-100» без добавки и с добавкой ПБА концентрацией 5 г/л.

По каждому варианту мойки испытывали по 10 двигателей рассчитывали

средние наработки между двумя ремонтами экспериментальных двигателей по рассматриваемым двум вариантам, которые составили соответственно 171,5 и 193,9 тыс. км. Наилучшие результаты получены при использовании 7%-го раствора «Темп-100» с добавкой ПБА концентрацией 5 г/л.

Продолжительность мойки и температура моющего раствора во всех случаях были идентичными и составляли 5 мин и 85°С соответственно. Владельцы автомобилей с наступлением следующего срока ремонта двигателя сообщали показание спидометра, по которым определялся ресурс двигателя между первым и вторым ремонтами.

При расчете экономического эффекта результатов исследования за базу для сравнения была принята мойка в 7%-м растворе «Темп-100». Экономический эффект (руб.) от применения ПБА концентрацией 5 г/л в составе 7%-го раствора «Темп-100» по отношению к 7%-му раствору «Темп-100» без ПБА определяется по выражению:

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

где  $\mathcal{E}_{\text{нар.}}$  – экономический эффект от увеличения межремонтной наработки двигателя, руб.;

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

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

$C_{\text{ПБА}}^1$  – стоимость ПБА на мойку деталей одного двигателя, руб.

Экономический эффект достигается за счет увеличения межремонтной наработки двигателей на 13% (22,4 тыс. км), повышения производительности труда при ремонте двигателей на 8%, снижения энергозатрат на обеспечение рациональной температуры раствора и по отношению к 7%-му раствору «Темп-100» составляет 2220,69 руб. в расчете на один отремонтированный двигатель.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Определены резервы увеличения ресурса агрегатов автомобилей в процессе их ремонта за счет совершенствования процесса мойки деталей, основанного на комплексном подходе к его исследованиям при одновременном улучшении степени очистки и коррозионной стойкости вымытых деталей.

2. Повышены степень очистки и коррозионная стойкость вымытых деталей за счет дополнительной активизации свойств моющего раствора введением в его состав пентабората аммония.

3. Экспериментально доказано, что степень очистки деталей имеет полиномиальную зависимость от концентрации ПБА и описывается уравнением 2-й степени. Установлена рациональная концентрация ПБА 5 г/л в растворе, при которой степень очистки достигает максимума 97,28%.

4. Получено уравнение зависимости степени очистки изделий от соотношения концентраций «Темп-100» и ПБА в моющем растворе.

5. Предлагаемый состав моющего раствора испытывали в условиях производства ООО «Рассвет» Рязанской области при ремонте двигателей ЗМЗ-40911.10 подконтрольных автомобилей УАЗ-3303. При мойке деталей в растворе предлагаемого состава наработка двигателей между двумя ремонтами составила 193,9 тыс. км против 171,5 тыс. км при мойке деталей базовым раствором. Экономический эффект от использования раствора предлагаемого состава в сравнении с базовым раствором в расчете на один двигатель составил 2220,69 рублей.

**Рекомендации производству.** Для улучшения экологических показателей процесса мойки деталей, условий труда работников, снижения энергозатрат, увеличения межремонтной наработки агрегатов машин при их ремонте рекомендуется использовать 7%-й раствор «Темп-100» с добавкой ПБА концентрацией 5 г/л.

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

**Положения диссертации и полученные результаты отражены в следующих основных публикациях:**

*Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК*

1. Степанова, Е.И. Анализ способов очистки и мойки поверхностей деталей в процессе ремонта агрегатов автотракторной техники / И.В. Фадеев, Е.И. Степанова, В.П. Воронов, С.Д. Полищук // Вестник РГАТУ. – 2022. – №2. – С. 183-192.

2. Степанова, Е.И. Зависимость степени очистки поверхностей деталей агрегатов автотракторной техники от продолжительности мойки с активацией моющего раствора центрифугой / И.В. Фадеев, Е.И. Степанова, А.С. Казарин, В.П. Воронов // Вестник РГАТУ. – 2022. – №3. – С. 130-138.

3. Степанова, Е.И. Влияние активации раствора колебанием корзины с деталями в моющей установке на степень очистки деталей / А.В. Шемякин, И.В. Фадеев, И.А. Успенский, Е.И. Степанова // Вестник РГАТУ. – 2023. – №2. – С. 175-181.

4. Степанова, Е.И. Новый экологически безопасный ингибитор коррозии и его –свойства / А.В. Шемякин, И.В. Фадеев, И.А. Успенский, Г.К. Рембалович, Ш.В. Садетдинов, Е.И. Степанова // Техника и оборудование для села. – 2023. – №4. – С. 35-37.

5. Степанова, Е.И. Повышение коррозионной стойкости внутренних

поверхностей топливных цистерн при очистке / А.В. Шемякин, И.В. Фадеев, И.А. Успенский, Е. И. Степанова // Вестник РГАТУ. – 2023. – №1. – С. 182-190.

***Патент на изобретение***

6. Средство для мойки деталей транспортных средств [Текст]: пат. 2777442 Рос. Федерация: МПК С11D1/72, С11D1/02, С11D3/06, С11D3/08, С11D3/10/ Фадеев И.В., Садетдинов Ш.В., **Степанова Е.И.** и др.; заявитель и патентообладатель ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. – №2021130520; заявл. 19.10.21; опубл.03.08.2022, Бюл. №22.

*Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная  
Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ №1599 подписано в печать 18.04.2024 г.  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Рязанский государственный агротехнологический университет имени  
П. А. Костычева»  
390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1  
Отпечатано в издательстве учебной литературы  
и учебно-методических пособий ФГБОУ ВО РГАТУ  
390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1*