

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева»

На правах рукописи



ЗЮБА ВАЛЕНТИН ВЛАДИМИРОВИЧ

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

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Специальность: 4.3.1 Технологии, машины и оборудование для
агропромышленного комплекса

Научный руководитель
доктор технических наук,
профессор И. В. Фадеев

Рязань, 2025

АННОТАЦИЯ

Введение содержит обоснование актуальности рассматриваемой проблемы, анализ степени ее изученности, а также формулировку цели и задач работы. Особое внимание уделено описанию применяемых методов и подходов, раскрытию научной новизны, а также теоретической и практической значимости исследования. Введение включает ключевые положения, выносимые на защиту, а также обоснование достоверности полученных результатов и их апробации в научной среде.

Первая глава посвящена обзору методов очистки и мойки деталей агрегатов современной автотракторной техники. Рассматриваются типовые конструкции моечного оборудования, используемые моющие средства, их состав и принцип действия. Анализируются основные преимущества и недостатки применяемых технологий. Приводится классификация загрязнений деталей, описываются факторы, влияющие на их формирование, а также дается оценка эксплуатационных условий, предопределяющих характер загрязнений.

Вторая глава посвящена изучению теоретических основ повышения качества очистки деталей и обеспечения их противокоррозионной стойкости в процессе мойки. Исследуются ключевые факторы, влияющие на эффективность очистки, такие как состав моющих растворов, температура обработки, режимы механической активации. Теоретически обосновывается роль ингибиторных свойств моющего состава в снижении коррозионных процессов.

Третья глава включает разработку методологических основ экспериментальных исследований, направленных на повышение эффективности погружной мойки деталей. Описаны методики лабораторных испытаний, изложены принципы постановки экспериментов, параметры исследуемых процессов и методология оценки их эффективности.

Четвертая глава посвящена анализу результатов экспериментальных исследований, направленных на оптимизацию состава моющего раствора и технологических параметров процесса мойки. Рассматриваются такие факторы, как концентрации синтетического моющего средства (СМС) и добавки; температура раствора; продолжительность обработки; механические способы

активации раствора. Проведена комплексная оценка влияния данных факторов на степень очистки деталей, а также разработаны рекомендации по выбору оптимального режима обработки.

В пятой главе представлена практическая проверка результатов исследований в условиях реального производства. Проведена оценка экономического эффекта от внедрения разработанных технологических решений, рассчитаны снижение затрат на очистку, а также снижение трудоемкости и энергопотребления при мойке.

Заключение содержит итоговые выводы, сформированные на основе проведенного исследования. Приведены научные и практические результаты, подтверждающие эффективность предложенных решений.

Список литературы включает перечень источников, использованных в работе, с указанием всех ссылок, приведенных в диссертации.

Приложения содержат материалы, подтверждающие внедрение разработок в производственный процесс.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К МОЙКЕ ДЕТАЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ РЕМОНТА АГРЕГАТОВ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ	12
1.1 Загрязнения поверхностей автотракторной техники в процессе эксплуатации. Разновидности загрязнений и их особенности	12
1.2 Предупреждение образования и удаление загрязнений с поверхностей ремонтируемых объектов	17
1.3 Средства для мойки и их характеристики	21
1.4 Машины и установки для мойки деталей.....	26
1.5 Выводы по главе 1	33
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ И ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ИХ МОЙКЕ.....	35
2.1 Теоретические основы процесса удаления загрязнений при мойке деталей	35
2.2 Физико-химические механизмы мойки деталей погружением в раствор	40
2.3 Влияние параметров процесса погружной мойки на качество очистки деталей.....	46
2.4 Теоретическое обоснование совершенствования противокоррозионной защиты вымытых деталей	50
2.5 Выводы по главе 2	57
3 ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ МЕТОДИКА.....	59
3.1 Устройство и принцип работы экспериментальной моечной установки. Методика определения степени очистки	59
3.2 Экспериментальные образцы и их подготовка	66
3.3 Методика планирования многофакторного эксперимента.....	69
3.4 Выводы по главе 3	72
4 ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ	73
4.1 Определение рациональной длительности погружной мойки	73

4.2 Обоснование рациональной температуры раствора Лабомид-203	77
4.3 Определение рациональной концентрации Лабомид-203 в растворе при погружной мойке	80
4.4 Изучение влияния способов активации на эффективность 3%-го раствора Лабомид-203	84
4.5 Исследование влияния монобората калия на характеристики 3%-го раствора Лабомид-203	87
4.6 Корректировка параметров погружной мойки добавкой монобората калия и комбинированной активацией раствора.....	91
4.7 Определение влияния параметров погружной мойки на степень очистки деталей методом проведения многофакторного эксперимента.....	96
4.8 Выводы по главе 4	106
5 ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА	109
5.1 Выбор объектов для подконтрольной мойки.....	109
5.2 Экономический эффект от внедрения результатов исследования.....	114
5.3 Выводы по главе 5	116
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	117
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	118
ПРИЛОЖЕНИЕ А (СПРАВОЧНОЕ) ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ	133

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Очистка деталей от различных загрязнений является одним из важнейших этапов при ремонте агрегатов автотракторной техники. В «настоящее время для эффективного удаления загрязнений с поверхностей деталей, что улучшает санитарные условия труда и повышает экологичность технологических процессов ремонта, используют синтетические моющие средства (СМС), которые в своем составе содержат поверхностно-активные вещества (ПАВ)» [72].

Мойка деталей относится к ресурсо-, энерго- и трудоемким процессам [35, 36], так как при этом затрачивается большое «количество воды, СМС, электроэнергии и труда. В настоящее время повышаются требования к экономии ресурсов, санитарно-гигиеническим условиям труда, охране окружающей среды, что, в первую очередь, относится и к процессу мойки деталей» [71].

Современные промышленные СМС, с помощью которых осуществляется мойка деталей при ремонте агрегатов автотракторной техники на предприятиях АПК, обладают недостаточными моющими и противокоррозионными свойствами. Они токсичны и представляют определенную опасность здоровью работников и окружающей среде, что объясняется содержанием в их составе хроматов, назначение которых заключается в повышении противокоррозионных свойств СМС [48, 70, 92].

«Эффективная мойка деталей повышает качество ремонта, межремонтную наработку агрегатов автотракторной техники на 20-30%, производительность труда до 8%, снижает трудовые и материальные затраты, а также отрицательное воздействие ремонтного производства на здоровье людей и природу» [72].

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

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

Исследованиями мойки деталей с целью повышения ее эффективности занимались и занимаются многие российские ученые Тельнов Н.Ф., Бышов Н.В., Козлов Ю.С., Шемякин А.В., Ребиндер П.А., Успенский И.А., Дегтерев Г.П., Карагодин В.И., Приходько В.М., Карелина М.Ю., Кравченко И.Н., Катаев Ю.В., Дорохов А.В., Садетдинов Ш.В., Лялякин В.П., Юхин И.А., Фадеев И.В. и другие. Из зарубежных ученых в этой области исследований можно отметить Джона Б. Дурки, Кэрола А. Леблан, Дэвида С. Питерсона и других.

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

«Совершенствование мойки деталей способствует повышению экологичности процесса ремонта агрегатов автотракторной техники, производительности труда» [71] работников ремонтного производства, качества дефектовочных и «ремонтных работ, межремонтной наработки агрегатов и машины в целом, улучшению санитарно-гигиенических условий труда,

экономии трудовых и материальных затрат при ремонте агрегатов автотракторной техники» [27].

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

«Эффективность технологического процесса мойки характеризуется степенью очистки деталей, которая зависит от режима, способа мойки, средств и оборудования для мойки, выбор которых определяется видом загрязнений, размерами, материалом деталей и другими факторами» [71].

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

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

Объект исследования: процесс погружной мойки деталей.

Предмет исследования. Параметры погружной мойки деталей, свойства раствора.

Научная новизна работы:

– разработан и обоснован комплекс мер, направленных на повышение эффективности мойки деталей за счет рационального подбора технологических параметров;

– предложен способ улучшения характеристик моющего раствора путем введения в его состав активизирующей добавки и использования усовершенствованного метода активации раствора;

– экспериментально установлены зависимости между степенью очистки деталей и изменяющимися параметрами процесса мойки, что позволило получить математическую модель, отражающую их взаимосвязь;

– путем проведения экспериментов и расчетами установлены рациональные концентрации СМС и добавки для моющего раствора, продолжительность мойки и температура раствора.

Теоретическая и практическая значимости работы.

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

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

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

В лабораторных и производственных исследованиях основывались на стандартных и собственных методиках, разработанных в ходе работы. Изучение моющих свойств СМС и активизирующей добавки осуществлялось на

оригинальной установке, изготовленной на кафедре технической эксплуатации транспорта ФГБОУ ВО РГАТУ, с использованием гравиметрического метода. Коррозионную стойкость деталей, вымытых в растворах СМС без добавки и с добавкой определяли по интервалу времени с момента завершения мойки до появления на их поверхности первых очагов коррозии.

Положения, выносимые на защиту:

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

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

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

4. Показатели производственной проверки результатов исследования.

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

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

Апробация результатов исследования. Основные результаты, полученные в ходе диссертационных исследований, докладывались и обсуждались на научно-практических конференциях различных уровней: *международных:* «Перспективы развития технической эксплуатации

мобильной техники» (г. Рязань, ФГБОУ ВО РГАТУ, 2024 г.), *всероссийских с международным участием*: «Автомобильный транспорт: эксплуатация, сервис, подготовка кадров» (г. Чебоксары, ЧГПУ им. И. Я. Яковлева, 2023, 2024 гг.)

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

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

Структура и объем диссертации. Диссертация представлена на 133 страницах, включает введение, пять глав с 32 таблицами и 34 рисунками, заключение, список литературы (120 наименований, включая 4 иностранных источника), и приложения, содержащие подтверждающие материалы по внедрению разработанных методик в производство.

1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К МОЙКЕ ДЕТАЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ РЕМОНТА АГРЕГАТОВ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

1.1 Загрязнения поверхностей автотракторной техники в процессе эксплуатации. Разновидности загрязнений и их особенности

Загрязнение поверхностей деталей агрегатов и систем, возникающее в процессе эксплуатации автотракторной техники, оказывает негативное влияние на её эксплуатационные показатели и функциональные характеристики. Это проявляется в снижении мощности двигателя, увеличении расхода топлива и смазочных материалов, ускорении износа трущихся элементов, что приводит к нарушению посадочных соединений в сопряжениях. Кроме того, ухудшается эффективность работы радиаторов, фильтров и других функциональных компонентов. В совокупности данные факторы способствуют сокращению ресурса работы как отдельных агрегатов, так и автотракторной техники в целом [99]. Поэтому очистные работы при их ремонте имеют первостепенное значение.

На рисунке 1.1 показана классификация загрязнений на ремонтируемых объектах, а места их образования и основные характеристики систематизированы в таблице 1.1.

Загрязнения, возникающие в процессе эксплуатации и ремонта автотракторной техники, делятся на эксплуатационные и на технологические.

Эксплуатационные загрязнения откладываются при эксплуатации машин:

Почвенные и дорожные отложения. Основное место их накопления – элементы ходовой части транспортных средств. Степень загрязнения обусловлена такими факторами, как время года, состояние дорожного покрытия и климатические условия.

Продукты коррозии – результат коррозионного разрушения металлов, ржавчина. У стали имеет красно-бурую окраску, у алюминия – серо-белую окраску.



Рисунок 1.1 – Разновидности загрязнений машин

«Накипь – отложение солей магния и кальция, имеющих в неподготовленной воде, на стенки элементов системы охлаждения» [12]. Имеет низкий коэффициент теплопередачи и нарушает теплообмен в двигателе. Снижает ресурс и мощностные параметры двигателя [102].

Масляно-грязевые образования – это вещества, которые формируются в процессе сорбции. В качестве адсорбента служат пыль и грязь, попадающие на деталь, а в качестве адсорбата – масло на детали. Возможен и обратный процесс появления [116].

Асфальтосмолистые образования – вязко-смолистые вещества на деталях смазочной системы двигателя [110].

«Лаковые отложения имеют вид пленки, оседают на юбке и внутри поршня» [56].

Таблица 1.1 – Свойства загрязнений изделий

Загрязнения	Характерные детали автомобиля	Максимальная толщина слоя загрязнения, мм	Максимальная площадь загрязненной поверхности, %*	
			автомобиля**	двигателя
Дорожно-почвенные отложения (дорожная грязь)	Детали ходовой части, рамы, кузова, кабины	30	70	-
Масляно-грязевые отложения	Наружная поверхность двигателя и коробки передач	10	10	15
Отслоившиеся ЛКП	Кабина, кузов, рама, крылья	1,0	90	70
Продукты коррозии	Рама, детали шасси, кабина, кузов	20	10	5
Накипь	Рубашка охлаждения блока и ГБЦ	5	1	2
Асфальто-смолистые отложения	Щеки коленчатого вала, шатуны, картер блока цилиндров	3		30
Нагар	Головка цилиндров, выпускной трубопровод, выпускной клапан	10	—	3

Примечание: *Площадь поверхности автомобилей и их агрегатов составляет 75-150 м² площадь двигателей и их деталей 10-25 м².

**Без двигателя.

«Нагар – твердые углеродистые соединения, собираются на поверхностях деталей, образующих камеру сгорания [57]. Относится к категории трудноудаляемых загрязнений.

Появление технологических загрязнений связано с процессом ремонта и их недостаточное удаление приводит к ускоренному износу сопряжений во время приработки. Это может проявляться в виде царапин, рисок и задигов, особенно заметных в начальный период эксплуатации после ремонта [62].

Твердые загрязнения, такие как производственная пыль, окалина, стружка, обычно удерживаются на поверхности за счет масляной пленки, но не имеют химической связи с материалом. Их удаление часто осуществляется совместно с масляной пленкой. Однако для удаления окисных пленок, абразивных частиц и загрязнений, прочно осевших на поверхности, требуется применение гидродинамического или ультразвукового воздействия.

На рисунке 1.2 изображена схема разделения загрязнений поверхностей деталей по их свойствам [99].

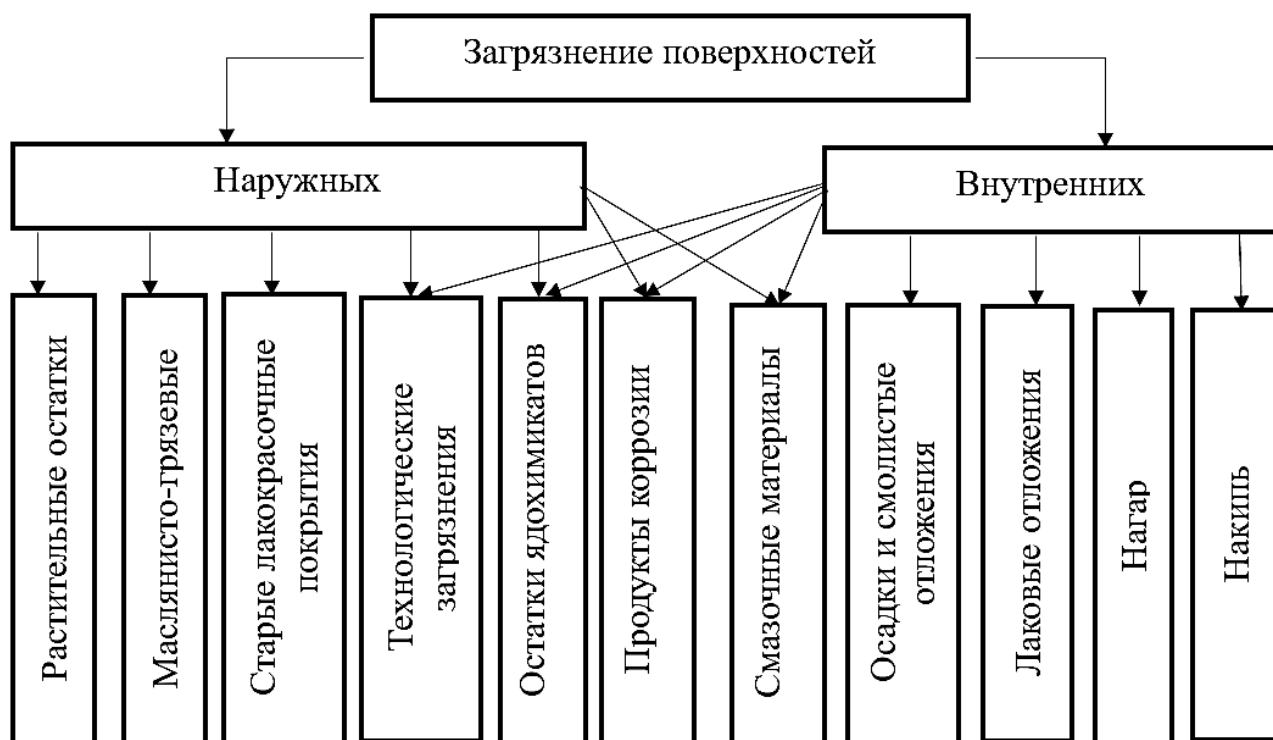


Рисунок 1.2 – Разделение загрязнений поверхностей деталей по их физико-механическим свойствам

При обкатке двигателя образуются продукты износа, которые следует удалять из смазочной системы вместе с масляным фильтром [54].

Автором диссертации [100] «разработаны и предложены более подробные классификационные схемы, обеспечивающие мойку деталей при ремонте узлов и агрегатов с применением активаторов мойки и ингибиторов коррозии с учетом особенностей технологических процессов ТО и ремонта, учитывающие следующие свойства загрязнений: смачиваемость, источники образования загрязнений» [100] (рисунки 1.3 и 1.4 соответственно).



Рисунок 1.3 – Загрязнения по смачиваемости

«Систематизация загрязнений по данным характеристикам позволяет выбрать оптимальные методы и средства очистки, что повышает скорость и качество ремонтно-сборочных работ, минимизирует материальные и трудовые затраты» [103] к проведению технического обслуживания и ремонтных работ, а

также создает более благоприятные условия для работы обслуживающего персонала.

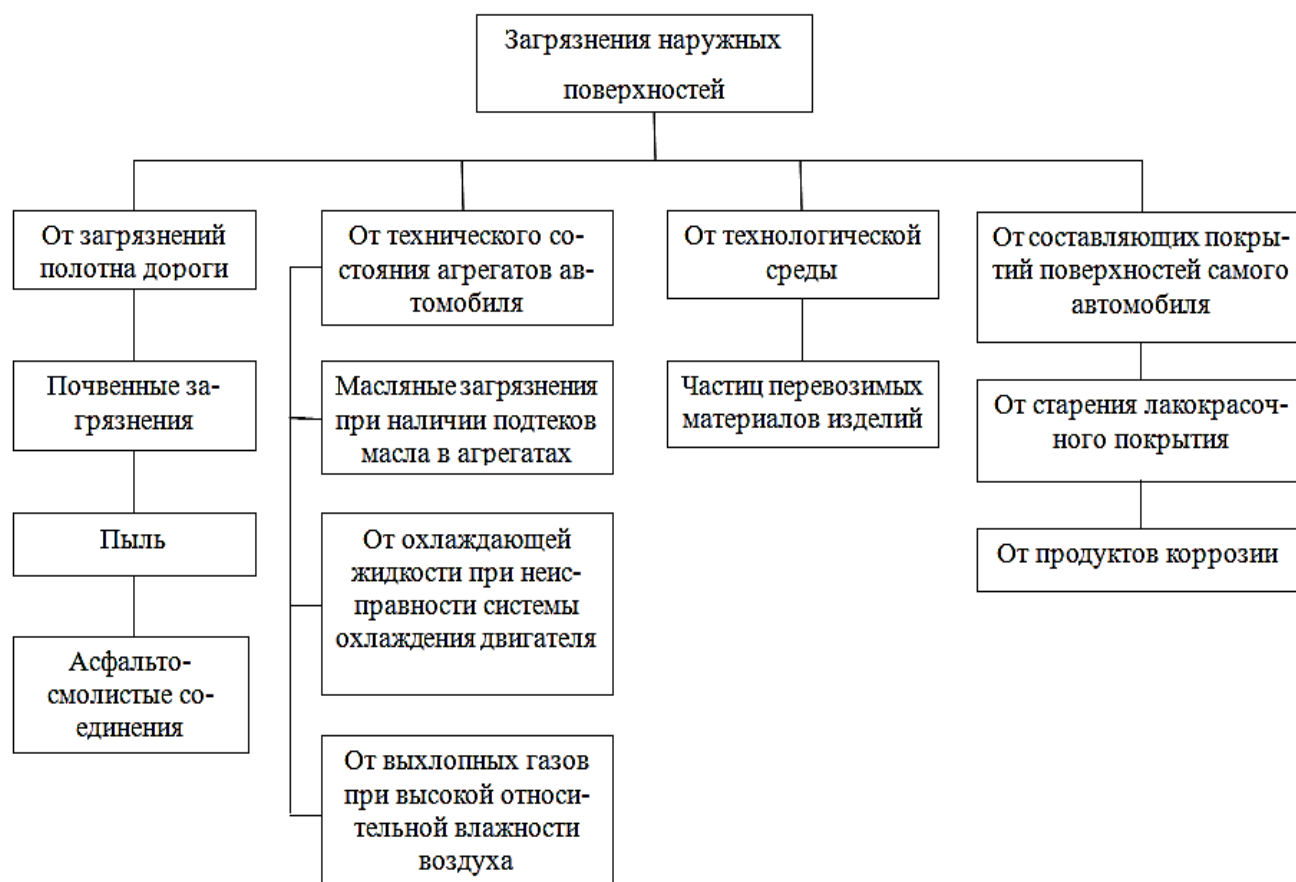


Рисунок 1.4 – Разделение загрязнений по источникам образования

1.2 Предупреждение образования и удаление загрязнений с поверхностей ремонтируемых объектов

Ученые многих ВУЗов РФ занимаются исследованиями по предупреждению образования и удалению загрязнений с поверхностей ремонтируемых объектов, повышению их стойкости к коррозионному разрушению после очистки. К числу таких ученых можно отнести профессоров Н.Ф. Тельнова [83, 84], И.Н. Кравченко [38, 39, 40, 41, 42, 43] (Московский государственный аграрный университет), Е.А. Пучина [61], А.Е. Северного [67, 68], Ю.В. Катаева [34], А.В. Дунаева [23], В.П. Лялякина [51] (Федеральный научный агроинженерный центр «ВИМ»), Н.В. Бышова [4, 5, 6, 7, 8, 112], А.В.

Шемякина [105, 106], И.А. Успенского [4, 5, 6, 7, 8, 108], И.В. Фадеева [87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 96, 98] (Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева), В.М. Приходько [59], В.И. Карагодина [30, 31], М.Ю. Карелину [32, 33] (Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)) и многих других. По тематике повышения эффективности мойки и стойкости к коррозионному разрушению вымытых деталей защищено множество диссертаций [9, 13, 25, 37, 44, 52, 60, 82, 101, 105, 107, 109, 111 и другие], в которых внимание уделяется или повышению эффективности мойки и очистки, или повышению коррозионной стойкости поверхностей вымытых деталей.

При кафедре технической эксплуатации транспорта ФГБОУ ВО РГАТУ создана научная школа по совершенствованию технологического процесса мойки деталей при ремонте агрегатов автотракторной техники, где проводятся комплексные исследования по повышению степени очистки и коррозионной стойкости вымытых деталей, что отражено в ряде защищенных диссертаций [12, 47, 54, 71, 100], изданных в научных трудах и статьях [27, 28, 29, 46, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81 и других].

Для повышения эффективности процесса очистки деталей от загрязнений рекомендуется принимать следующие меры:

1. Минимизировать интенсивность или профилактировать образование загрязнений, что может быть достигнуто за счет: введения в состав топлива и смазочных материалов функциональных присадок, которые снижают коррозионную активность нефтепродуктов и препятствуют образованию углеродистых отложений; нанесения на поверхности деталей специальных антиадгезионных и антикоррозионных покрытий, минимизирующих сцепление загрязнений с поверхностью и обеспечивающих надежную защиту от коррозионных процессов; совершенствования технической эксплуатации машин, что способствует снижению риска загрязнения деталей.

2. Разработка и внедрение высокоэффективных методов очистки, которые становятся приоритетными, поскольку полностью исключить образование

загрязнений невозможно. На практике машины, поступающие в ремонт, обычно содержат разнообразные типы загрязнений, что делает критически важным использование передовых технологий и специализированных средств для их удаления [53].

Очистка представляет собой процесс удаления загрязнений с поверхностей ремонтируемых объектов до уровня, соответствующего установленным требованиям чистоты, с использованием механических, физико-химических, химических и термических методов воздействия [103].

Ключевые задачи, решаемые в процессе очистки при ремонте агрегатов, включают следующие аспекты:

- обеспечение высокого качества ремонтных операций, «повышение производительности труда специалистов, улучшение культуры производства и соблюдение санитарно-гигиенических норм;

- создание условий, необходимых для точного измерения физико-механических и геометрических характеристик изделий, а также подготовка поверхностей к нанесению функциональных или защитных покрытий» [86].

- предотвращение и снижение коррозионного воздействия агрессивных компонентов атмосферы на детали в период проведения ремонтных работ;

- достижение необходимой чистоты поверхностей изделий для последующей сборки агрегатов.

Применяется множество методов мойки и очистки изделий (рисунок 1.5).

Суть процесса мойки и обезжиривания и их основная задача заключается в удалении твердых и жидких загрязнений с поверхностей изделий, переводя их в раствор или дисперсию в очищающей среде [113].

Каждый метод основан на использовании определенного способа разрушения адгезионно-когезионных связей загрязнений и их аннулирования. «Для сокращения времени мойки можно применять различные способы интенсификации моющей среды, включая повышение температуры и давления воздействия на загрязнения, ультразвуковую, механическую активации среды и другие» [114].

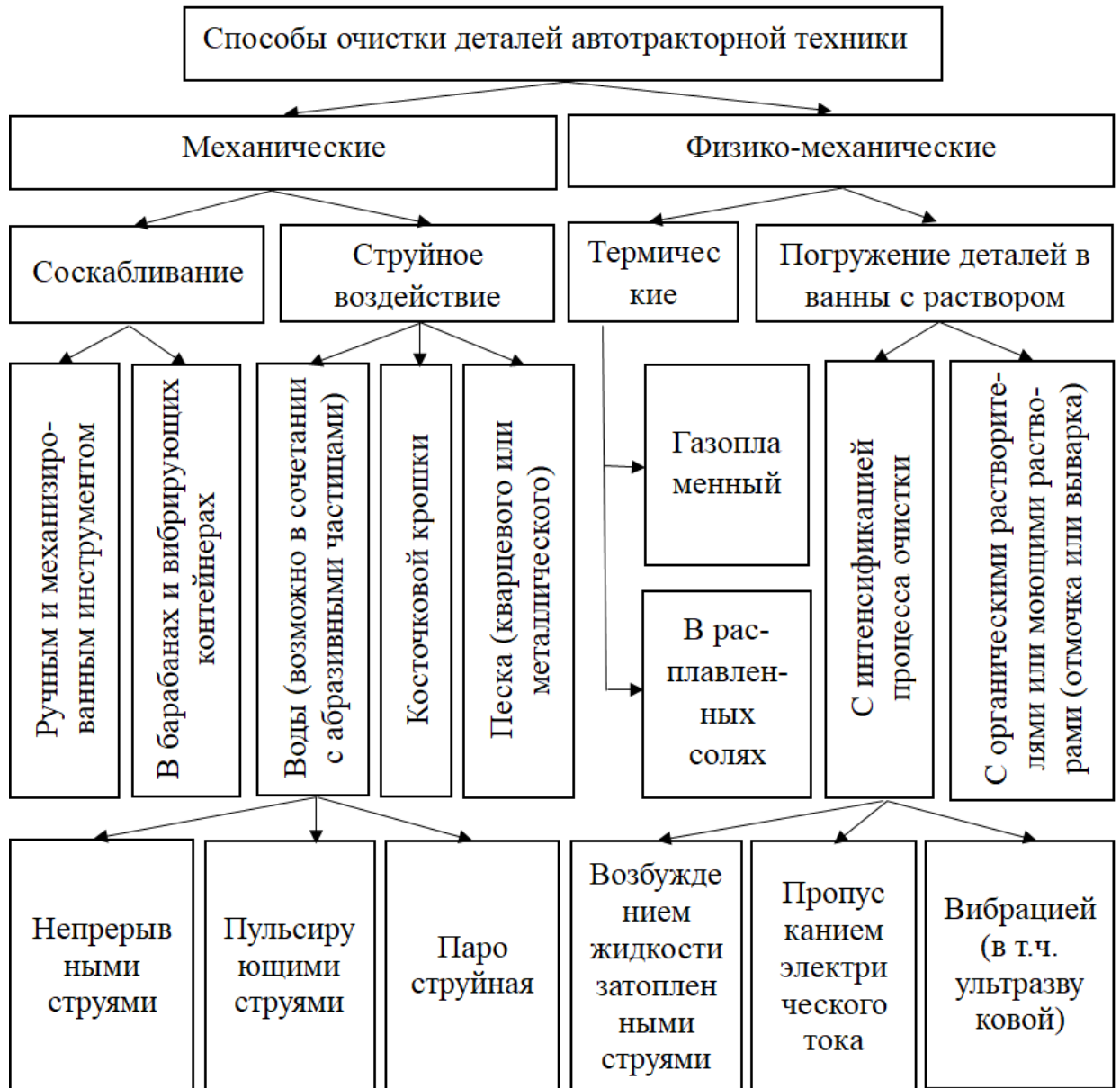


Рисунок 1.5 – Способы мойки и очистки изделий

В зависимости от разновидности загрязнений применяют различные способы для их удаления (таблица 1.2). Как видно из таблицы 1.2, несмотря на существенный расход воды, что является одним из основных недостатков, струйная мойка остается одним из наиболее используемых способов удаления загрязнений с поверхностями ремонтируемых объектов.

Таблица 1.2 – Рекомендуемые способы удаления различных загрязнений

Виды загрязнений	Способ очистки
Нагар	Термомеханический (расплав солей); гидровиброабразивный; комбинированный; ванно-струйная очистка (растворяющий раствор – щелочной состав)
Асфальтосмолистые отложения	Пароводоструйный с моющими средствами; струями с моющими средствами; гидровиброабразивный; циркуляционный в растворителе; в щелочном растворе погружением с активацией раствора винтами и в растворителе с активацией вибрацией
Застарелая смазка	Пароводоструйный с моющими средствами; струями высокого давления (с моющими средствами и без них); струями низкого давления с моющими средствами; погружением в щелочной раствор или растворитель с возбуждением раствора винтами или вибрацией; комбинированные способы (растворяющий раствор – щелочной состав)
Накипь	Термомеханический (расплав солей)
Продукты коррозии	Гидровиброабразивный; циркуляционный в кислотном растворе; погружением в кислотный раствор (ванна со статическим положением деталей)
Отслоившиеся ЛКП	Пароводоструйный; струями высокого давления (с моющими средствами); погружением в щелочной раствор и с возбуждением раствора винтами или вибрацией
Дорожно-почвенные загрязнения	Пароводоструйный без моющих средств; струями высокого давления с моющими средствами и без них

1.3 Средства для мойки и их характеристики

В современных процессах ремонта детали моют с помощью СМС. Их основным составляющим являются ПАВ (таблица 1.3), которые обеспечивают эффективность СМС.

Таблица 1.3 – Состав синтетических моющих средств, наиболее применяемых для мойки деталей автотракторной техники, в % по массе

Компоненты моющих средств	Марка моющих средств									
	МС-6	МС-8	МС-15	МС-17	Лабомид-101	Лабомид-203	МЛ-51	МЛ-52	Темп-100	Темп-100А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Тринарийфосфат $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	–	–	–	–	–	–	34,5	30	20	20
Кальцинированная сода Na_2CO_3	40	38	44-42	40	50	50	44	50	40,5	40,5
Метасиликат натрия	29	29	28	28	16,5	10	–	–	20	20
Синтанол ДС-10	6	–	–	–	3,5	8	–	–	1,5	1,5
Триполифосфат натрия $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$	25	25	22	26	30	30	–	–	15	15
Карбамид	–	–	–	–	–	–	–	–	2,5	2,0
Алкисульфаты	–	–	–	–	–	2	–	–	–	–
Синтамид-5	–	8	–	–	–	–	–	–	–	–
Нитрит натрия	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,3
Гексаметилен- диамин	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,2
Синтамид-510	–	–	–	4	–	–	–	–	–	–
Оксифос-Б	–	–	6-8	–	–	–	–	–	–	–
Жидкое стекло $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$	–	–	–	–	–	–	20	10	–	–
Оксифос КД-6	–	–	–	–	–	–	–	–	0,5	0,5
Сульфанол НП-1	–	–	–	–	–	–	–	1,8	–	–
Смачиватель ДБ	–	–	–	–	–	–	1,5	8,2	–	–

Примечание: «Лабомид – лаборатория очистки машин и деталей; МС – моющее средство (разработка МИИСП); Темп – технический моющий препарат» [100].

Преимущества СМС по сравнению с традиционными щелочными смесями и едким натром заключаются в их высокой моющей способности,

безопасности применения и универсальности для обработки деталей из различных материалов.

«СМС выпускают в виде сыпучего, гигроскопичного белого или светло-желтого порошка. Они нетоксичны, негорючи, пожаробезопасны и хорошо растворимы в воде. Растворы СМС допускают одновременную очистку деталей из черных, цветных и легких металлов и сплавов. В отличие от растворов едкого натра они безопасны в применении» [69].

Дополнительно, благодаря содержанию силикатов, СМС обеспечивают противокоррозионную защиту, что исключает необходимость дополнительной консервационной обработки узлов и деталей, рассчитанных на краткосрочное хранение (10-15 дней) после мойки. Это делает СМС незаменимым компонентом в современных технологиях очистки узлов и деталей.

Показатели эффективности рассмотренных выше СМС рассмотрена в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Эффективность наиболее используемых СМС

Моющее средство	Концентрация СМС, г/л	Чистота поверхности, баллы, в зависимости от времени очистки, с					
		30	60	90	120	180	240
Едкий натр	15-20	2,0	4,0	-	5,0	6,5	7,0
Лабомид-101	30	2,0	4,5	6,0	8,0	9,5	10,0
МЛ-52	30	3,5	7,5	9,0	10,0	10,0	-
Лабомид-203	30	3,0	7,0	8,5	10,0	10,0	-
МС-6	30	2,0	4,5	7,0	8,0	9,5	10,0
МС-8	30	3,5	7,5	9,0	10,0	10,0	-
Силпирон У-64	10	-	-	-	-	8,0	-
	20	-	-	-	-	9,5	10,0
	30	3,0	5,0	9,0	9,0	10,0	10,0

Данные таблицы 1.4 подтверждают эффективность рассмотренных СМС в сравнении с едким натром.

Для обеспечения качественной очистки поверхностей деталей в ремонтном производстве применяются разнообразные составы моющих

средств, специально разработанные для разных типов оборудования и условий эксплуатации.

«Средства Лабомид-101, Лабомид-102 и МС-6 предназначены для моечных машин струйного типа, а Лабомид-203 и МС-8 – для машин погружного типа. Разработаны новые составы технических моющих препаратов Темп-100 и Темп-100А. Препараты Темп эффективнее, чем Лабомид и МС, и, кроме того, Темп-100А обладает повышенным пассивирующим действием по отношению к очищаемой поверхности. Из зарубежных СМС наиболее эффективными являются Силирон У-64 и Грофорте-супер» [117].

«Разработано пожаро- и взрывобезопасное средство МС-9, состоящее из неионогенных ПАВ (0,3%), активных добавок – Na_2CO_3 , Na_3PO_4 , NaOH (6%) и воды (93,7%). МС-9 имеет низкую пенообразующую способность» [54]. МС-9 используется в струйных установках при температурах 70-75°C, что ниже температурного диапазона для МЛ-52 (80-100°C). Отсутствует склонность к пенообразованию, что делает его особенно эффективным для использования в струйных моечных системах.

«Растворы СМС демонстрируют наивысшую эффективность при температурах 80-85°C, в то время как при снижении температуры ниже 70°C моющая способность раствора уменьшается, а пенообразование усиливается. Для устранения пенообразования в растворы смешивают пеногасители в количестве 10-15 г/л» [3].

Едкий натр не пригоден «для очистки и мойки деталей из алюминия и его сплавов. Алюминий реагирует со щелочами с образованием растворимой соли (алюмината натрия), поэтому для обезжиривания деталей из алюминия и алюминиевых сплавов используют растворы на основе кальцинированной соды (10-15 г/л) с добавлением тринатрийфосфата (10-25 г/л) и жидкого стекла (10-15 г/л)» [8].

«Нейтральные жидкости не вступают в химическое взаимодействие с загрязнениями, их очищающее действие основано на образовании с загрязнениями коллоидных растворов, суспензий и эмульсий. Нейтральные

жидкости подразделяются на органические (перхлорэтилен, трихлорэтилен, ксилол, ацетон, дихлорэтан, дизельное топливо, керосин тракторный, бензин и уайт-спирит) и неорганические (воду)» [71].

Органические растворители имеют:

1) преимущества:

- эффективность;
- можно обрабатывать детали сложных форм;
- можно использовать несколько раз.

2) недостатки:

- работают избирательно;
- токсичность и пожароопасность;
- высокая стоимость.

«Повышение скорости и качества очистки зависит от сочетания высокой химической активности моющей среды и максимального эффекта кавитационного разрушения загрязнений» [71]. Композиция дихлорэтана и дизельного топлива демонстрирует отличные результаты при ультразвуковой очистке масляных загрязнений.

Использование органических растворителей в ремонтном производстве позволяет в «6-8 раз повысить производительность, улучшить качество очистки и сократить время обработки. Такие средства как Лабомид-311 и Лабомид-315, демонстрируют высокую эффективность при температуре 20-65°C, обеспечивая качественное удаление масляных и углеродистых отложений» [71].

Результаты лабораторных испытаний показали, что применение данных моющих средств позволяет существенно уменьшить время очистки деталей по сравнению с использованием щелочных растворов. Такой эффект достигается «при умеренной активации моющего раствора, которая осуществляется колебанием деталей с амплитудой 150-200 мм и частотой 1,0-2,5 с⁻¹» [11].

«Препараты, такие как Лабомид-311 и Лабомид-315, значительно сокращают время обработки деталей и повышают качество очистки при температурах 20-65°C. Лабомид-315, в частности, обладает высокой

способностью удалять масляные, асфальтосмолистые и углеродистые отложения, превосходя по эффективности такие препараты, как Ардрокс-667 и Лабомид-311.

Растворяюще-эмульгирующие средства (РЭС) представляют собой смеси растворителей, ПАВ и воды, которые применяются для растворения и эмульгирования загрязнений.

Они подразделяются на:

- РЭС-1: горючие смеси на основе нефтяных углеводородов» [117];
- РЭС-11: негорючие смеси хлорированных углеводородов.

В связи с тем, что в состав некоторых моющих растворов входят агрессивные компоненты, такие как кислоты и щелочи, что требует добавления ингибиторов коррозии.

Ингибиторы создают защитную пленку на металлических поверхностях, предотвращая коррозионное разрушение [19, 20, 115]. Добавление ингибиторов коррозии в состав некоторых растворов предотвращает разрушение металлов и обеспечивает долговременную защиту очищенных деталей.

Таким образом, внедрение современных СМС и РЭС, а также использование ингибиторов коррозии, позволяет достичь высокой эффективности очистки деталей, повысить производительность ремонтных работ и снизить затраты на их проведение.

Использование современных моющих средств в сочетании с инновационными методами очистки обеспечивает высокую эффективность, экономию ресурсов и улучшение условий труда.

1.4 Машины и установки для мойки деталей

Детали, снятые с машин в процессе их ремонта, покрыты различными загрязнениями.

В прошлом для очистки деталей от загрязнений использовались различные растворители и нефтепродукты, которые растворяли загрязняющие

вещества, после чего их остатки удалялись с поверхности деталей с помощью моечного пистолета. Преобладали установки погружного типа: детали погружались в резервуары, заполненные растворителем, затем промывались водой и очищались вручную. Однако такой метод был неэффективен с точки зрения экологии и гигиены. По мере загрязнения растворителя в резервуаре на очищенных деталях оставались остаточные загрязнения, что ухудшало качество очистки. Более того, применяемые токсичные растворители и отсутствие систем вентиляции способствовали насыщению рабочих помещений вредными парами, негативно влияя на здоровье персонала [72]. В связи с этим мойку деталей необходимо осуществлять растворами на водной основе, применяя специальное моеющее оборудование.

Моечное оборудование – это специальное устройство, предназначенное для очистки и обработки поверхностей различных деталей [16]. Они используются в ремонтном производстве на предприятиях АПК, автотранспортного комплекса, различных областях промышленности для удаления загрязнений, жиров, масел, ржавчины и других загрязнений с поверхностей деталей.

Преимущества использования моечных машин:

Внедрение моечных машин для очистки деталей позволило существенно улучшить процесс очистки. Основные преимущества включают:

- увеличение производительности: благодаря высокой скорости и эффективности работы моечные машины ускоряют ремонтные операции.
- повышение качества ремонта: тщательная очистка деталей способствует точной дефектации и продлевает срок службы агрегатов.
- экономия времени и ресурсов: автоматизация процессов сокращает необходимость в ручном труде и минимизирует затраты.
- гигиена и безопасность: использование моечных машин улучшает санитарные условия на производстве, снижая контакт персонала с токсичными веществами.

– гигиена и безопасность: использование моечных машин улучшает санитарные условия на производстве, снижая контакт персонала с токсичными веществами, улучшает санитарно-гигиенические условия труда;

– экологичность: машинная мойка минимизирует расход воды и моющих средств, что снижает загрязнение окружающей среды [118].

Модель моечной машины следует выбирать с учетом материала изготовления и максимальных размеров промываемых деталей.

Существуют модели моечных машин, оснащённые двумя или более ваннами. Такие машины применяются в следующих случаях:

– очистка деталей из цветных металлов (алюминий, медь, латунь, бронза и др.), для которых требуется ополаскивание деминерализованной водой.

– противокоррозионная защита деталей из стали или чугуна: для деталей, предназначенных для длительного хранения, в ванны для ополаскивания добавляют специальные средства, замедляющие коррозионные процессы.

Некоторые модели моечных машин поддерживают процессы фосфатирования, которые преимущественно выполняются струйным методом. Фосфатирование проводится для подготовки металлических поверхностей к окраске, улучшая адгезию краски [119]. В машинах для мойки фосфатирующие вещества в смеси с водой распыливаются через форсунки на поверхности деталей. Такой способ является более экономичным и менее опасным в сравнении с применением растворителей и обеспечивает такие же результаты [17, 24, 49]. К недостаткам этого способа можно отнести количество ванн, которых должно быть больше одной, и необходимость регулярного контроля химического состава растворов в каждой из них. Существует несколько видов профессионального моечного оборудования: струйные, ультразвуковые и погружные.

Струйные (автоматические) мойки (рисунок 1.6) основываются на использовании форсунок, подающих струи горячего раствора моющего

средства под высоким давлением, что позволяют эффективно удалять различные загрязнения с поверхностей обмываемых деталей.

Форсунки расположены на рампах и «направлены так, чтобы струи моющего раствора воздействовали на все участки поверхности деталей, при необходимости устанавливаются дополнительные форсунки для направленного воздействия на отдельные участки деталей» [119].



Рисунок 1.6 – Струйная моечная машина

Мойки «оснащены системой подогрева моющих растворов и контролем уровня жидкости, а также, патрубками для слива и пополнения растворов. В качестве нагревательных элементов используются ТЭНы из нержавеющей стали» [119]. Производятся различных конструкций: с откидной крышкой с вращающейся корзиной (платформой), с выкатной, решетчатой платформой для деталей и др. Струйные моющие машины удобны в использовании и имеют высокую производительность. К ним относятся российские моечные машины серии АМ, СПЕКТР, ФОРТ, SIMPLEX (Италия).

В работах [12, 54, 71, 100] отмечается, что очистка деталей от загрязнений лучше осуществляется в моечных машинах с возможностью получения струй высокого давления и нагревом раствора до 80-95°C.

Современные струйные моечные машины с «вращающейся корзиной (платформой) и эффективным щелочным моющим средством, не токсичным и не вредным для» [54] здоровья работников и окружающей среды, позволяют получить качественную очистку поверхностей деталей при ремонте узлов и агрегатов автотракторной техники. Детали на платформе «надо располагать так, чтобы избежать «эффекта стакана», то есть устанавливать их следует так, чтобы жидкость после промывки не застаивалась внутри детали, а свободно стекала. Кроме того, детали на платформе не должны загораживать друг друга от струй раствора» [119].

Работа ультразвуковой мойки (рисунок 1.7) основана на эффекте кавитации – высокочастотные звуковые волны, создаваемые ультразвуковыми генераторами, образуют микроскопические пузырьки, которые, контактируя с поверхностью деталей, разрываются под большим давлением, разрушая загрязнения и отрывая их с очищаемой поверхности [59].



Рисунок 1.7 – Ультразвуковая моечная машина

К машинам такого типа относятся российские машины марки «Град», «ПСБ-Галс», «Сапфир», германские «Elmasonic», «Bandelin», польская Eko-Pil и другие. Ультразвуковой способ очистки особенно эффективен для удаления загрязнений с труднодоступных мест.

Основным недостатком ультразвуковых моечных машин является сложность обслуживания и их высокая стоимость.

Погружные мойки (рисунок 1.8) представляют собой металлическую или пластиковую ванну с раствором моющего средства, в которую детали, подлежащие очистке, погружаются и выдерживаются в течение определенного промежутка времени, в процессе чего загрязнения растворяются или отслаиваются от поверхности деталей.



Рисунок 1.8 – Погружная моечная машина

Мойка сложных деталей на обычных струйных машинах затруднена из-за невозможности правильно ориентировать деталь внутри моечной камеры. Погружные машины позволяют качественно промывать большое количество изделий различной формы. К тому же погружные моечные машины обычно являются многоэтапными – детали проходят несколько этапов обработки различными способами. Погружные мойки можно оборудовать барботажной системой – подачей воздуха под небольшим давлением, пузырьки которого, поднимаясь со дна ванны и разрываясь при контактировании с деталями, будут разрушать отрывать загрязнения с поверхностей деталей. После выемки

деталей из ванны их промывают водой или специальными растворами для удаления остатков моющего раствора и загрязнений.

Промывка деталей в машинах с погружением в моечный раствор представляет собой комбинацию из струйной очистки и полоскания. Детали загружаются в корзину и задвигаются в моечную камеру. После того как дверь герметично закрылась машина начинает цикл струйной очистки. Длительность цикла настраивается на панели. Затем сливной клапан перекрывается, и моечная камера заполняется раствором на $2/3$ объема. В этот момент включается режим полоскания, то есть корзина с деталями начинает вращаться в заполненной моющим раствором камере. Помимо вращения корзина совершает покачивающие движения, встряхивание.

Для достижения ещё большей эффективности машина может быть дополнительно оснащена модулями ультразвуковой очистки, ополоскивания, вакуумной сушки и другими.

В результате проведенного анализа современных моечных установок для деталей их классификации будет выглядеть в виде схемы на рисунке 1.9.

Очистка деталей с использованием струйных моечных машин обладает рядом достоинств в сравнении с другими методами очистки. Основными преимуществами являются:

- повышение качества очистки. Струйные мойки обеспечивают более эффективную очистку деталей, чем другие способы мойки;
- экономия времени. Очистка деталей в струйной моечной машине занимает меньше времени, чем другие способы за счет автоматизации процесса и отсутствия ручного труда;
- снижение затрат. За счет фильтрации и повторного использования рабочего раствора сокращаются расходы воды и моющих средств.
- безопасность. Работа со струйным моечным оборудованием более безопасна для оператора за счет отсутствия контакта с химическими составами, воздействия вредных паров;

– универсальность. Оборудование для мойки можно адаптировать под очистку деталей различного типа, включая детали сложной конфигурации и требующие специальной обработки.

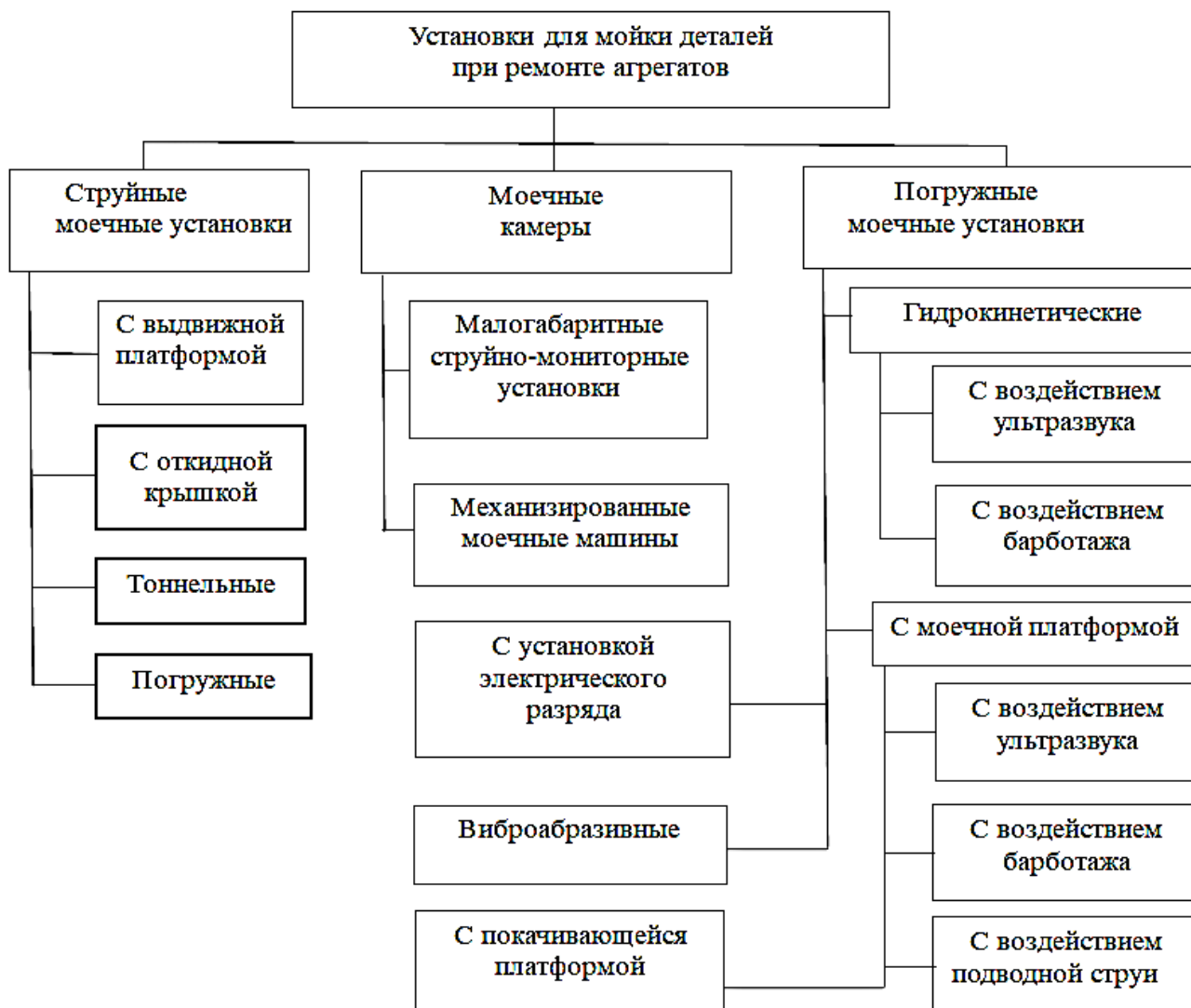


Рисунок 1.9 – Классификация установок для мойки деталей

Из всех технологий мойки деталей, несмотря на некоторые преимущества струйных машин, наиболее применяемой является технология погружной мойки, а из струйных машин – моечная машина, имеющая откидную крышку, что объясняется ее простотой и удобством загрузки и выгрузки деталей.

1.5 Выводы по главе 1

1. На образование загрязнений на поверхностях деталей агрегатов в первую очередь способствуют состав ГСМ и других технических жидкостей, эксплуатационные условия, рабочие процессы внутри агрегатов.

2. Загрязнения подразделяют на классы по следующим признакам:

– эксплуатационные (возникают в процессе эксплуатации) и технологические (возникают в процессе ремонта).

– по свойствам загрязнений: смачиваемые (гидрофильные), несмачиваемые (гидрофобные), смешанные.

– по источникам образования: от технического состояния агрегатов; от полотна дороги; от защитных покрытий изделия, от перевозимых материалов.

3. Самыми применяемыми являются физико-химический, механический и термический способы очистки.

4. Наиболее используемыми из всех синтетических моющих средств являются «Лабомид», «Темп», «МС», «МЛ». Лабомид-203, МС-8 и МЛ-52 в основном применяются для погружной мойки. В качестве недостатков по этим средствам можно отметить существенный расход энергии для обеспечения температурного режима мойки и невысокие моющие и ингибиторные показатели.

5. Более привлекательным способом очистки поверхностей ремонтируемых объектов является погружная мойка.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ И ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ИХ МОЙКЕ

2.1 Теоретические основы процесса удаления загрязнений при мойке деталей

Мойка деталей представляет собой процесс удаления загрязнений с их поверхности под воздействием воды, растворов моющих средств или других жидкостей, переводящих загрязнения в состояние раствора, устойчивой дисперсии (эмульсии или суспензии).

Процесс очистки загрязнений можно условно разделить на три ключевые стадии:

– Смачивание загрязненной поверхности. На первом этапе осуществляется равномерное покрытие поверхности детали водным раствором синтетических моющих средств (СМС). Этот процесс подготавливает поверхность к дальнейшим стадиям очистки.

– Удаление загрязнений. На данном этапе применяются физико-химические механизмы, включающие:

- Эмульгирование – перевод загрязнений в дисперсное состояние путем создания эмульсий.

- Солюбилизацию – растворение загрязнений, ранее малорастворимых в воде.

- Диспергирование – раздробление загрязнений на мелкие частицы.

- Создание расклинивающего давления.

- Вывод загрязнений в виде диспергированных, эмульгированных или солюбилизованных частиц из системы моющего оборудования.

Смачивание является ключевым физико-химическим явлением, определяющим эффективность удаления загрязнения.

Степень смачивания в существенной степени определяется адгезионно-когезионными силами и характеризуется углом смачивания (рисунок 2.1).

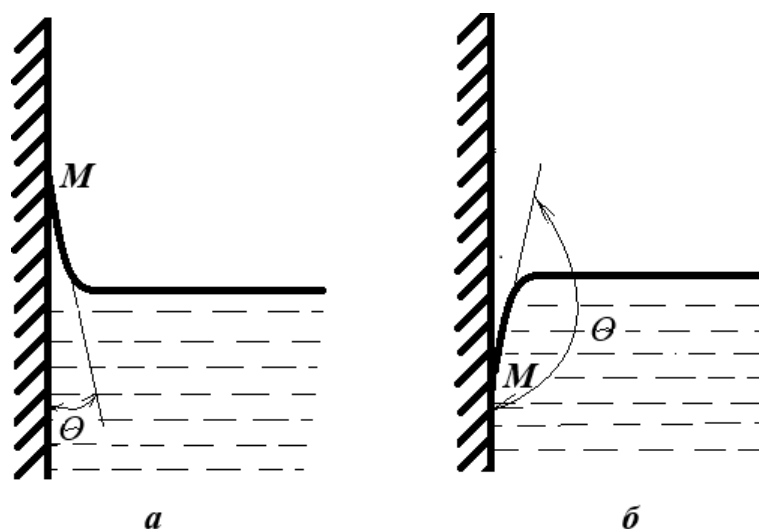


Рисунок 2.1 – Мениски жидкости: *а* – смачивающей (вогнутый); *б* – несмачивающей (выпнутый)

Значение угла позволяет определить, является ли жидкость смачивающей ($\theta < \pi/2$) или несмачивающей ($\theta > \pi/2$) по отношению к конкретной твердой поверхности.

Для успешного удаления загрязнений важно, чтобы моющий раствор эффективно проникал в зазоры между загрязнениями и поверхностью детали. Однако высокая поверхностная энергия воды ограничивает ее смачивающую способность, что требует добавления поверхностно-активных веществ (ПАВ) в состав моющих растворов.

ПАВ являются основными компонентами СМС и классифицируются на анионные, катионные, неионные и амфотерные вещества в зависимости от их химической структуры и ионных свойств в растворах. При добавлении ПАВ концентрацией около 0,1% поверхностное натяжение воды снижается более чем в два раза, что существенно улучшает смачивающие свойства раствора. Анионные ПАВ характеризуются образованием отрицательно заряженных анионов, ответственных за поверхностную активность, тогда как катионные ПАВ демонстрируют бактерицидные свойства и чаще применяются для

дезинфекции. Неионные ПАВ отличаются устойчивостью к жесткой воде, а амфотерные могут менять заряд в зависимости от рН среды, что делает их универсальными и деликатными.

Молекулы ПАВ обладают амфифильной структурой, где гидрофильная часть растворяется в воде, а гидрофобная группа вытесняется из водной фазы, концентрируясь на границе раздела фаз (рисунок 2.2). На границе фаз молекулы ПАВ образуют адсорбционные слои, что способствует отделению загрязнений от поверхности деталей. После отделения загрязнения удерживаются в растворе, что предотвращает их повторное осаждение на очищаемых поверхностях.

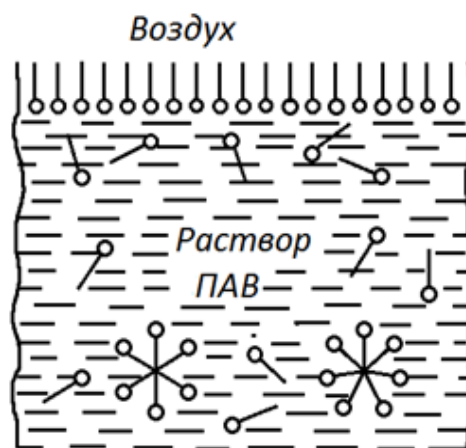


Рисунок 2.2 – Ориентация (скопление) молекул ПАВ на границе фаз: раствор ПАВ – воздух

Использование ПАВ в составе СМС способствует значительному сокращению времени, необходимого для мойки деталей, и уменьшению расхода моющих средств. Благодаря их адсорбционным свойствам и способности образовывать устойчивые эмульсии и дисперсии, процесс мойки становится более эффективным, что подтверждается множественными исследованиями [5, 7, 20] и практическими результатами [28, 43, 60, 64].

Мойка деталей – это совокупность следующих процессов:

Адсорбция – это процесс концентрации одного из компонентов раствора на границе раздела фаз. В моющих системах ее обеспечивают поверхностно-активные вещества, которые образуют адсорбционные слои, снижающие поверхностное натяжение и способствующие отделению загрязнений. Для защиты очищаемых металлических деталей в состав СМС включаются ингибиторы коррозии.

Эмульгирование представляет собой формирование эмульсий, при котором загрязнения представляются в растворе в виде мелких капель. Скорость образования эмульсий определяется межфазным натяжением: чем ниже его значение, тем быстрее образуется эмульсия. Устойчивость эмульсий обеспечивается прочностью защитных оболочек из молекул ПАВ.

Диспергирование – процесс раздробления твердых загрязнений, при котором частицы загрязнений удерживаются в растворе благодаря адсорбционным свойствам ПАВ. Молекулы ПАВ, проникая в трещины загрязнений, способствуют их измельчению и предотвращают повторное оседание частиц на очищаемой поверхности.

Для поддержания устойчивости раствора используется стабилизация, при которой ПАВ образуют защитные оболочки вокруг частиц загрязнений, препятствуя их слипанию (рисунок 2.3).

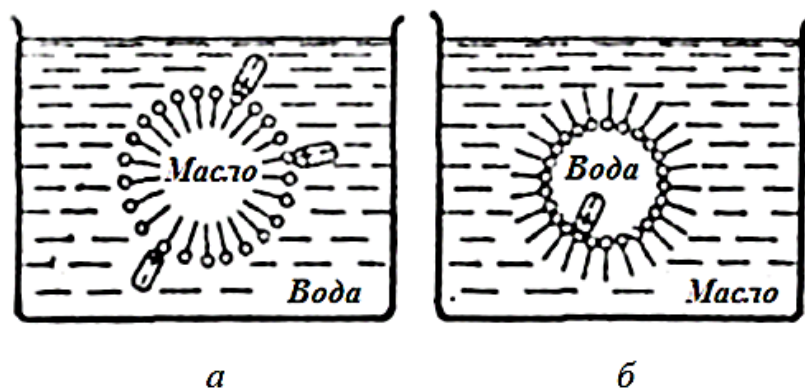


Рисунок 2.3 – Схема стабилизации эмульсий: *а* – прямая; *б* – обратная

Солюбилизация – это процесс коллоидного растворения, при котором ПАВ способствуют переходу малорастворимых веществ в раствор. Этот

процесс важен для удержания загрязнений в растворе, особенно в системах, содержащих смеси ионных и неионных ПАВ. Солюбилизация – это способность раствора ПАВ удерживать значительное количество малорастворимых веществ, что увеличивает устойчивость моющих составов при изменении температуры. Она обеспечивает глубокое проникновение раствора в загрязнения и их эффективное удаление.

Пептизация представляет собой процесс увеличения степени дисперсности твердых загрязнений, в результате которого они переходят в состояние суспензии, характеризующейся взвешиванием мелких частиц в моющем растворе. Пептизаторы, адсорбируясь на поверхности частиц загрязнений, способствуют их гидратации и увеличению поверхностного заряда, что приводит к снижению межчастичного взаимодействия и переводу загрязнений в растворенное или диспергированное состояние.

Растворение СМС в воде сопровождается гидролизом, который приводит к образованию пены. Молекулы ПАВ адсорбируются на поверхности воздушных пузырьков, формируя двустенные оболочки, устойчивые в воздухе. Пена способствует удержанию загрязнений в растворе, однако ее избыточное образование может ухудшить качество мойки. Для предотвращения этого используются пеногасители, такие как эфиры, спирты и алкиламины, которые вытесняют пенообразующие вещества с поверхности раствора.

Описанные физико-химические механизмы, включая адсорбцию, эмульгирование, диспергирование и солюбилизацию, обеспечивают высокую эффективность очистки деталей с использованием СМС. Понимание этих процессов позволяет оптимизировать состав моющих средств и условия их применения для достижения максимальной эффективности при удалении загрязнений и предотвращения их повторного осаждения.

Моющие средства должны не только эффективно удалять загрязнения, но и предотвращать коррозию металлических деталей. Для улучшения их свойств в состав СМС вводятся активизирующие добавки, повышающие моющую способность и противокоррозионную защиту. Такие добавки подбираются

эмпирически, на основании пробных моек с использованием стандартных загрязнений.

В данном исследовании в качестве активизирующей добавки используется моноборат калия (KBO_2), который обладает ингибиторными свойствами. Для моделирования реальных условий в качестве искусственного загрязнения применена смесь картерной смазки и отложений из системы смазки дизелей.

В данном исследовании в качестве активизирующей добавки используется моноборат калия (KBO_2), который обладает ингибиторными свойствами. Для моделирования реальных условий в качестве искусственного загрязнения применена смесь картерной смазки и отложений из системы смазки дизелей.

Эффективная мойка деталей требует комплексного подхода, включающего правильный выбор моющих средств, обеспечение их способности растворять, эмульгировать и диспергировать загрязнения, а также предотвращать коррозию. ПАВ, благодаря своим уникальным свойствам, играет ключевую роль в этих процессах, обеспечивая высокую эффективность очистки и стабильность раствора.

2.2 Физико-химические механизмы мойки деталей погружением в раствор

Мойка деталей погружением в раствор основывается на смачивании и растворении загрязнений на поверхностях деталей и является распространённой технологией в производственных и ремонтных процессах, особенно для очистки от масел, смазок, оксидов, пыли и т.п. «Для растворения загрязнений используют органические растворители, их смеси с эмульгаторами, щелочные растворы и растворы СМС» [100].

Технология мойки погружением может включать несколько этапов:

1. Погружение деталей. «Детали помещаются в ёмкость, содержащую специальный моющий раствор. Процесс погружения обеспечивает максимальный контакт раствора с загрязнениями на поверхностях деталей» [12], что позволяет эффективно смачивать загрязнения даже в труднодоступных участках.

2. Мойка. На этапе мойки раствор удаляет загрязнения с поверхности деталей. Процесс может быть ускорен применением физических методов, таких как ультразвук, циркуляция раствора или механическое перемешивание. Продолжительность мойки зависит от степени загрязнения и типа материала деталей.

3. Полоскание. После этапа мойки детали обычно погружаются в чистую воду или иной полоскательный раствор для удаления остатков моющего средства.

4. Сушка. После полоскания детали сушатся. Сушка может производиться горячим воздухом, вакуумом или естественным испарением.

Выварочные ванны, используемые для очистки деталей этим способом, имеют ограниченную эффективность из-за недостаточного возбуждения моющего раствора, которое определяется лишь естественной конвекцией вследствие температурных градиентов.

Повышение интенсивности очистки достигается путём совмещения вываривания и механического воздействия на жидкость.

Методы увеличения интенсивности процесса:

- нагрев моющего раствора.
- перемешивание жидкости в ванне или перемещение деталей.

Наиболее эффективной является очистка, при которой детали размещаются в корзинах или на платформах, совершающих вертикальные или горизонтальные колебания в моющем растворе. Такие системы обеспечивают оптимальные условия обтекания поверхностей деталей и повышают качество очистки.

В качестве оборудования применяются ванны прямоугольной или цилиндрической формы, изготовленные из стальных сварных баков (рисунок 2.4). Детали погружаются в моющий раствор, при этом важно следить, чтобы они не опускались ниже определённого уровня, чтобы избежать повторного загрязнения из-за взбалтывания осадка [31].

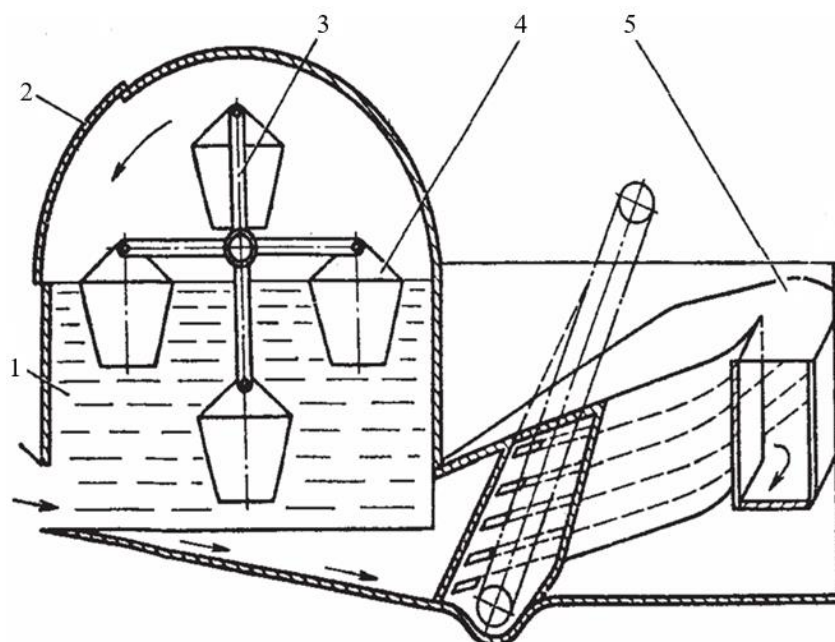


Рисунок 2.4 – Принципиальная схема установки для очистки деталей погружением: 1 – ванна; 2 – крышка проема для загрузки и выгрузки деталей; 3 – крестовина; 4 – контейнер для деталей; 5 – устройство для очистки растворов от твердых загрязнений

Моющие растворы могут быть различными в зависимости от типа загрязнения, материалов деталей и требований к чистоте:

1. Щелочные растворы наиболее распространены в промышленной мойке. Используются для удаления жиров, масел и других органических загрязнений. «В состав входят такие вещества, как гидроксид натрия, карбонаты, фосфаты, силикаты. Щелочные растворы часто активизируются за счёт нагрева до температуры 40-80°C, что улучшает их очищающие свойства.

2. Кислотные растворы применяются для удаления оксидов» [71], ржавчины и накипи. В состав входят такие кислоты, как фосфорная, серная или лимонная. Кислотные растворы также могут активизироваться нагревом, но требуют строгого контроля для предотвращения коррозии деталей.

3. Нейтральные растворы используются для мягкой очистки, особенно если детали чувствительны к агрессивным химическим воздействиям. В состав могут входить ПАВ, которые облегчают удаление загрязнений.

Органические растворители применяются для удаления специфических загрязнений, таких как масла и смолы. Могут включать в себя углеводороды, спирты или кетоны.

Процесс разрушения загрязнений при очистке деталей погружением в раствор основан на нескольких физико-химических механизмах, которые работают совместно для эффективного удаления загрязнений:

1. Смачивание поверхности и проникновение раствора. Моющий раствор сначала контактирует с поверхностью детали. ПАВ, входящие в состав раствора, снижают поверхностное натяжение жидкости, позволяя раствору проникнуть в микротрещины и поры на поверхности деталей, а также под слой загрязнения. Это обеспечивает плотный контакт раствора с загрязнением [26].

2. Разрушение адгезионных связей загрязнений с поверхностью. Загрязнения удерживаются на поверхности деталей за счёт адгезионных сил, возникающих между частицами загрязнения и поверхностью. Моющие растворы уменьшают эти силы благодаря действию ПАВ и активных химических веществ (например, щелочей или кислот), которые начинают разрушать молекулярные и физические связи между загрязнением и поверхностью.

- Щелочные растворы: вступают в реакцию с органическими загрязнениями, такими как масла и жиры, разрушая их химическую структуру через процесс омыления. В результате жиры распадаются на мыло и глицерин, что снижает адгезию загрязнений.

- Кислотные растворы: разрушают минеральные отложения и оксиды (например, ржавчину), растворяя их и отделяя от поверхности.

3. Эмульгирование органических загрязнений. При удалении органических загрязнений, таких как масла и смазки, ПАВ играют ключевую роль в процессе эмульгирования. ПАВ окружают частицы загрязнений, превращая их в стабильные капли, которые не могут вновь осесть на поверхность детали. Этот процесс называется эмульгированием, в результате образуется устойчивая эмульсия, где частицы загрязнений распределяются в растворе (рисунок 2.5).

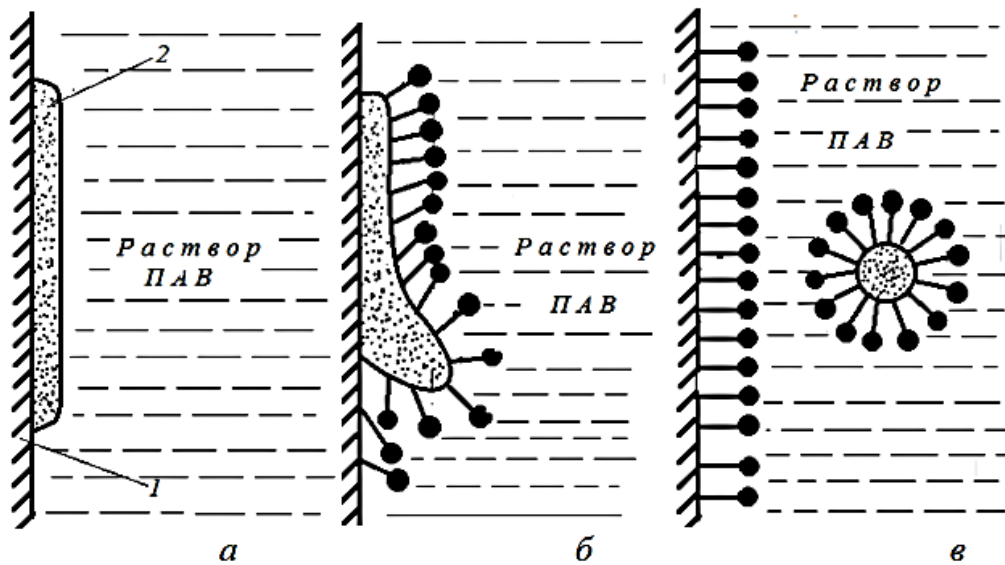


Рисунок 2.5 – Схема действия раствора ПАВ на масляное загрязнение: 1 – поверхность детали; 2 – слой загрязнения; а – начальное состояние; б – увеличение поверхности масла и образование капелек; в – эмульгированная капля масла

4. Диспергирование твёрдых частиц загрязнений. Для твёрдых частиц важным механизмом является их диспергирование в растворе. Моющий раствор, воздействуя механически (например, путём перемешивания или кавитации), разрушает и распределяет частицы загрязнений в жидкости, предотвращая их повторное осаждение.

5. Механическое воздействие. Для усиления эффекта химической очистки применяется механическое воздействие. Это может быть ультразвуковая кавитация, циркуляция раствора или перемешивание:

- Ультразвук: кавитационные пузырьки, образующиеся в жидкости под действием ультразвука, создают микровзрывы при их схлопывании. Эти взрывы производят высокоэнергетические микроудары по загрязнению, разрывая его на мелкие части и способствуя их удалению.

- Циркуляция раствора: создаёт механическое воздействие на частицы загрязнений, помогая их отделить от поверхности и унести потоком раствора.

6. Растворение и химическая реакция загрязнений. Химические компоненты моющего раствора могут непосредственно реагировать с загрязнениями, растворяя их или изменяя их структуру, что облегчает их удаление:

- Органические растворители эффективно растворяют масла, смолы и другие органические загрязнения.

- Кислоты растворяют минеральные загрязнения, такие как карбонатные и силикатные отложения.

7. Удаление загрязнений с поверхности. Как только адгезионные связи разрушены, загрязнения эмульгированы или диспергированы, они могут быть удалены потоком моющего раствора. Раствор обновляется на поверхности детали за счёт перемешивания, циркуляции или механического перемещения деталей, что помогает эффективно смыть загрязнения.

8. Полоскание и финальная очистка. После разрушения и удаления основной массы загрязнений детали промываются чистым раствором или водой, чтобы смыть остатки моющего средства и загрязнений. Это финальный этап, на котором поверхность деталей окончательно очищается от химических остатков и частиц загрязнений.

Таким образом, процесс разрушения загрязнений при мойке деталей погружением в раствор включает в себя сложные химические, физические и

механические взаимодействия, направленные на эффективное отделение загрязнений от поверхности деталей и их последующее удаление.

2.3 Влияние параметров процесса погружной мойки на качество очистки деталей

Основные параметры процесса погружной мойки – это её продолжительность, сила механического воздействия на загрязнения, концентрация синтетического моющего средства и активизирующей добавки в растворе и температура раствора. Для повышения эффективности процесса погружной мойки необходимо управлять этими переменными параметрами. Если один из параметров изменить, нужно скорректировать остальные, иначе качество промывки снизится. Например, чтобы увеличить пропускную способность установки, «нужно сократить продолжительность мойки. При этом нужно будет скорректировать хотя бы один или все остальные параметры – увеличить концентрацию СМС и активизирующей добавки в растворе и температуру раствора, чтобы обеспечить требуемую степень очистки деталей» [27].

На рисунке 2.6 приведена схема влияния значения параметров погружной мойки на степень очистки деталей.

«Степень удаления загрязнений с поверхности деталей повышается при большей продолжительности действия моющего раствора, которая при мойке в моечных машинах колеблется в довольно широких пределах (5-30 минут)» [27].

Отдельно нужно остановиться на механическом воздействии на загрязнения – параметре, который оказывает значительное влияние на качество мойки. В погружных мойках для активации моющего раствора применяются [10]:

1. Ультразвук. При ультразвуковом воздействии используются высокочастотные звуковые колебания (20-40 кГц), которые создают кавитацию

в растворе. Кавитационные пузырьки разрушаются у поверхности загрязнений, способствуя механическому удалению загрязнений.

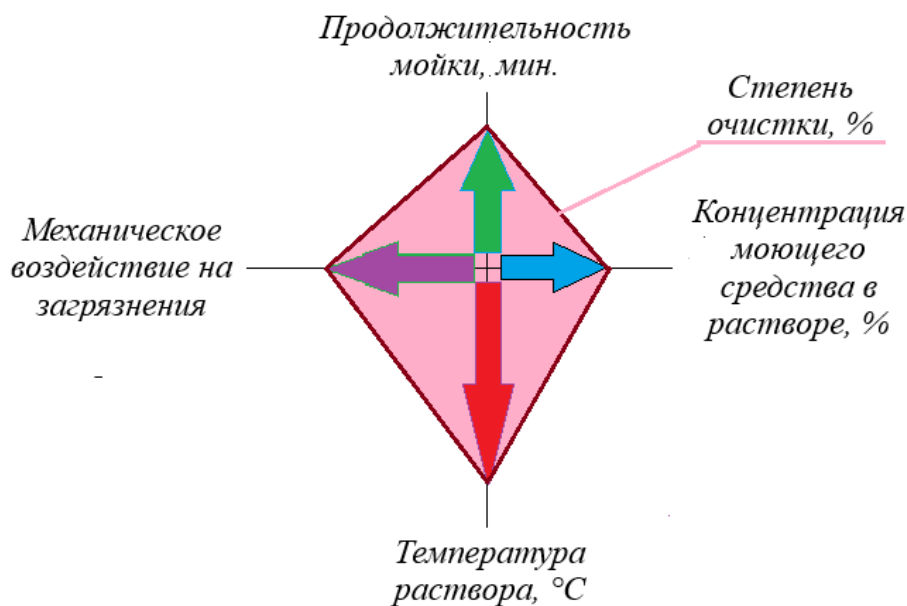


Рисунок 2.6 – Влияние параметров погружной мойки на очистку деталей

2. Циркуляция раствора. Для создания потока раствора вокруг деталей, который помогает механически удалять загрязнения и обновлять раствор, контактирующий с поверхностью загрязненных деталей, применяют насосы.

3. Механическое перемешивание раствора. Для перемешивания раствора, что помогает улучшить его контакт с загрязненными поверхностями, ванны могут быть оснащены специальными механизмами.

4. Электрохимическая активация. Для некоторых типов загрязнений и материалов может применяться электрохимическая обработка, при которой детали погружаются в раствор и подключаются к источнику электрического тока. Это может ускорять реакции удаления загрязнений и активировать восстановление поверхностей.

5. Вибрация или колебательное движение очищаемых деталей в объеме раствора. Способствует обновлению раствора, контактирующего с поверхностью загрязненных деталей.

6. Барботаж – пропускание через жидкость газа или пара под давлением, в процессе чего происходит перемешивание и нагрев моющего раствора.

Газовые пузыри при столкновении с загрязненной поверхностью деталей разрываются, создавая при этом разрушающее воздействие на загрязнение.

Правильно подбирая концентрации моющего средства и активизирующей добавки, можно управлять химической активностью раствора, что имеют важное значение для качества очистки деталей. Эффективность действия моющего раствора существенно повышается при увеличении концентрации синтетических моющих средств (СМС) и добавок, однако только до определённого предела.

«Процесс удаления загрязнений с поверхности детали условно можно разделить на два периода: первый относится к набуханию и проникновению моющего раствора в пленку загрязнений, а второй – к отделению набухшей пленки от поверхности детали.

В первый период мойки существенное значение имеют концентрации СМС и добавки в моющем растворе. Продолжительность проникновения раствора в пленку загрязнений пропорциональна степени концентрации. В дальнейшем при растворении и смывании загрязнений эффективность моющего действия достигается при поддержании требуемой концентрации СМС и добавки в моющем растворе.

Отмывание загрязнений облегчается при повышении температуры раствора. Температура существенным образом влияет на моющую способность СМС. Большинство моющих растворов работают эффективнее при повышенных температурах (80-95°C)» [12]. Однако, при регулировании температуры необходимо руководствоваться результатами работ [2, 3, 54, 100]. В таких условиях раствор и загрязнения теряют свою вязкость, ускоряются химические реакции, а также повышается скорость растворения водорастворимых загрязнений, нейтрализации кислот и расщепления жиров щелочными электролитами. Однако избыточное повышение температуры может негативно повлиять на эффективность из-за снижения поверхностной активности легкорастворимых поверхностно-активных веществ (ПАВ), увеличения пенообразования и снижения устойчивости эмульсий [96].

«Процесс погружной мойки можно описать формулой:

$$A_o = A_{\text{фх}} + A_{\text{м}} , \quad (2.1)$$

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

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

Чем выше физико-химическая активность моющей среды, т. е. больше $A_{\text{фх}}$, тем меньше требуется затрачивать механическую энергию; чем физико-химически пассивнее моющая среда, т. е. меньше $A_{\text{фх}}$, тем больше потребуется затратить механическую энергию ($A_{\text{м}}$) для получения одинакового результата мойки. Оптимальные значения $A_{\text{фх}}$ и $A_{\text{м}}$ определяются исходя из технологических и экономических факторов» [72], таких как состав загрязнений, тип деталей и затраты на очистку.

Для правильного подбора моющего средства, которое полностью удалит загрязнения и не повредит деталь, необходимо определить её материал, вид загрязнения и рН моющего средства (рисунок 2.7).

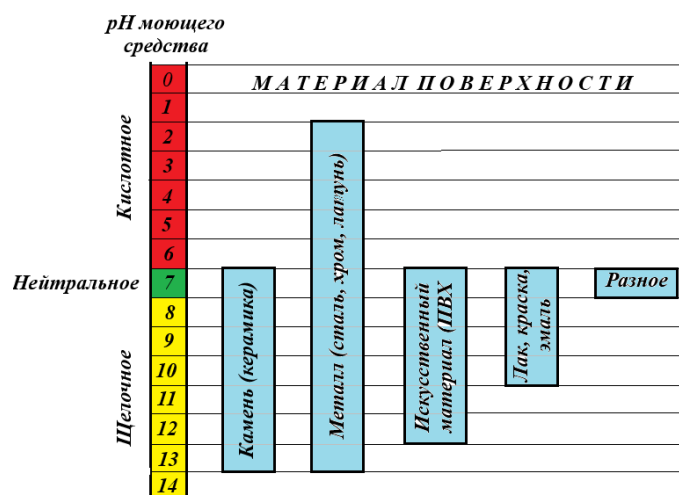


Рисунок 2.7 – Выбор моющего средства в зависимости от материала детали и рН моющего средства и материала детали

Щелочные моющие средства совместимы со всеми типами моек и эффективно отмывают большинство загрязнений – топливо, масла, смазки, копоть, сажу.

Кислотные моющие средства подходят для удаления неорганических загрязнений: продукты коррозии, окалины, окислы. Перед применением нужно проверить совместимость с моющим оборудованием и материалом детали.

Нейтральные моющие средства не содержат разъедающих веществ, поэтому они подходят для любых поверхностей и безвредны для человека и природы [55].

Таким образом, выбор моющего средства для погружных моечных машин зависит от вида загрязнения, материалы детали и моечного оборудования.

2.4 Теоретическое обоснование совершенствования противокоррозионной защиты вымытых деталей

Коррозия очищенных деталей представляет важную проблему в любой программе очистки. Она может проявляться как сразу после завершения этапа очистки, так и в процессе хранения очищенных объектов.

Отказ автотракторной техники может быть обусловлен недостаточной степенью очистки компонентов при проведении ремонтных работ, а также коррозионным разрушением деталей, возникающим после их мойки. Этот процесс в значительной степени объясняется низкими качественными характеристиками используемых растворов.

Самопроизвольно протекающий процесс разрушения металлических изделий под действием окружающей среды называют коррозией (от латинского «corrodere» – разъедать).

Коррозионные процессы, возникающие на поверхности металлических деталей, можно классифицировать на два основных типа: химическую и электрохимическую коррозию.

Химическая коррозия происходит в условиях отсутствия электролитов и, как правило, развиваются при высоких температурах, исключающих образование водяного пара. Такой процесс, известный как высокотемпературная или газовая коррозия, связан с взаимодействием металлов с агрессивными газами.

Электрохимическая коррозия, являющаяся наиболее распространенной в реальных условиях, возникает в присутствии растворов электролитов. Этот вид коррозии можно рассматривать как результат действия микрогальванических элементов, формирующихся на поверхности металла, при контакте с жидкой средой. Наличие разнородных участков на металлической поверхности – это одна из причин электрохимической коррозии. Другой причиной является природа металла. Каждый металл будет катодом в отношении всех металлов, стоящих до него в ряду напряжений, и анодом в отношении всех последующих. Коррозия металла происходит именно на аноде [45].

Скорость протекания коррозионного процесса определяется как внутренними, так и внешними факторами. Внутренние факторы включают состав и микроструктуру металла: чем более однородна структура металла или сплава, тем выше его устойчивость к коррозии. Наличие неоднородностей, таких как включения или дефекты, способствует ускорению разрушения материала. Так технический магний в качестве примесей содержит около 9,2% железа. Это приводит к тому, что технический магний корродирует в десятки раз быстрее, чем химически чистый магний. Наличие карбидов в стали, графита в чугуне, включений Cu, Al в дюралюминии вызывает ускорение коррозионного процесса.

Обработка поверхности путем шлифования и тем более полирования, повышает устойчивость против коррозии. Царапины на металле, углубления в биде раковин, являются участками, где обычно начинается коррозия.

Деформация металла, а также наличие в металле напряжений, ведут к понижению коррозионной устойчивости металла.

Среди внешних факторов важным параметром является концентрация водородных ионов в растворе (рН). С уменьшением рН (увеличением кислотности) катодные процессы деполяризации водородом и кислородом протекают с большей интенсивностью, что ведет к увеличению скорости коррозии.

Скорость коррозионных процессов в значительной степени зависит от того, находится ли раствор в покое (например, в установке для погружной мойки деталей без активации раствора) или движении (при активации раствора).

На начальных этапах повышение интенсивности активации раствора приводит к значительному увеличению скорости коррозии по сравнению с неподвижным раствором. Это явление обусловлено ускорением доставки кислорода к микрокатодным участкам корродирующей поверхности.

В последующем интенсивность коррозии снижается, что обосновано образованием на поверхности металла защитных пленок. Однако при более интенсивной активации раствора снова может наступить увеличение скорости коррозии, т.к. пленка разрушается.

«Повышение температуры резко увеличивает интенсивность многих коррозионных процессов. Однако при определенных условиях скорость коррозии может снижаться из-за уменьшения растворимости кислорода или формирования защитных слоев продуктов коррозии [21].

В действительности, как только коррозионные микрогальванические элементы начинают работать, величины электродных потенциалов анодных и катодных участков корродирующего металла изменяются в направлении уменьшения их разности. По этой причине скорость коррозионного процесса уменьшается, и она никак не может быть связана с величиной начальной разности потенциалов. Изменение потенциалов происходит таким образом, что катод смещается в более отрицательную зону, а анод – в более положительную.

Для исследования процессов коррозии применяется широкий спектр методов, каждый из которых обладает своими особенностями и областью применения.

Гравиметрический (весовой метод представляет собой один из наиболее распространенных подходов. В его основе лежит измерение убыли массы изделия, которая происходит вследствие коррозионных процессов:

$$K = \frac{M_1 - M_2}{S \cdot t} \left[\frac{g}{m^2 \cdot ч} \right] \quad (2.2)$$

где M_1 – масса первоначальная, г;

M_2 – масса после испытания, г;

S – площадь исследуемой поверхности, m^2 ;

t – продолжительность испытания, ч.

Для удобства расчетов формулу (2.2) мы преобразовали в формулу (2.3), используя обозначения на рисунке 3.3 и коэффициентов:

$$K = \frac{M_1 - M_2}{2[ab + (a + b)c] - \frac{\pi d^2}{2} + \pi dc} \times \frac{10000 \times 8760}{t}, \quad (2.3)$$

где a , b , c – ширина, длина и толщина исследуемого образца соответственно, мм;

t – продолжительность испытания, год;

$\pi = 3,14\dots$ – математическая постоянная величина.

1000 – коэффициент, используемый для перевода кг в г;

8760 – коэффициент, используемый для перевода час в год.

Поляризационные эффекты играют ключевую роль в процессе коррозии. Анодная поляризация, связанная с увеличением потенциала анода, может быть обусловлена концентрационной поляризацией (увеличением концентрации ионов металла) или пленочной поляризацией (образованием защитной пленки). Образование таких пленок, особенно в нейтральных средах, может приводить к переходу металлов в пассивное состояние, при котором скорость коррозии значительно снижается [65].

Катодная поляризация – повышение потенциала катода, то есть смещение потенциала катода в сторону более отрицательного значения, как результат недостаточно быстрого связывания электронов, поступающих с анодных участков (накопление электронов). Это связано с уменьшением концентрации окислителей в растворе (концентрационная поляризация), адсорбцией образовавшегося водорода поверхностью катода (газовая поляризация), изменением рН среды.

Депольаризация представляет собой процессы, которые уменьшают поляризацию на аноде или катоде, тем самым ускоряя коррозию. Анодными депольаризаторами являются вещества, разрушающие защитные пленки или препятствующие их образованию. Понижение концентрации ионов корродирующего металла повышает скорость анодного процесса.

Катодными депольаризаторами при коррозии, чаще всего, являются кислород и ионы водорода [50]. Все процессы коррозии деталей автотракторной техники как в атмосферных условиях, так и в нейтральных растворах СМС, а также процессы растворения деталей в слабокислых растворах в присутствии кислорода идут за счет катодного процесса восстановления кислорода, то есть с кислородной депольаризацией.

Снижение агрессивности моющей среды может быть достигнуто уменьшением содержания депольаризатора и введением ингибиторов (замедлителей) коррозии.

Скорость электрохимического коррозионного процесса существенно зависит от концентрации депольаризатора в растворе [18]. Уменьшение содержания депольаризатора может быть достигнуто:

- нейтрализацией кислых моющих сред, вызывающих коррозию деталей за счет водородной депольаризации;
- удалением из раствора кислорода (обескислороживание или деаэрация), который вызывает коррозию деталей в результате протекания кислородной депольаризации.

Обескислороживание или деаэрация раствора осуществляют различными способами:

- нагреванием раствора (термическая деаэрация);
- продуванием раствора инертным газом (десорбционное обескислороживание);
- введением в раствор восстановителей (например, сульфита натрия, гидразина).

«Ингибиторы коррозии – вещества, которые, находясь в коррозионной среде в достаточной концентрации, сильно замедляют либо вообще прекращают коррозионное разрушение металла. Ингибитором коррозии может быть как одно соединение, так и смесь нескольких» [46].

Известно много веществ, которые можно рассматривать как ингибиторы коррозии. Эффективными ингибиторами являются многие природные органические соединения и продукты их химической переработки.

Ингибиторы коррозии выступают в роли соединений, которые замедляют электрохимические процессы. Они снижают агрессивность коррозионной среды либо способствуют формированию защитных фазовых пленок на поверхности металла. Эти пленки, состоящие из продуктов взаимодействия ингибиторов с металлом, раствором или продуктами коррозии, защищают материал от дальнейшего разрушения [65].

Ингибиторами также являются вещества, понижающие скорость электрохимических процессов. Они снижают агрессивность коррозионной среды, либо способствуют формированию защитных фазовых пленок на поверхности металла [22].

«Ингибиторы чаще применяются в системах, работающих с постоянным или мало обновляемым объемом растворов, к которым относятся установки для мойки деталей.

Действие ингибиторов в моющем растворе обычно состоит в образовании защитной пленки на поверхности металла» [47].

Это может быть:

- тонкий (мономолекулярный) слой адсорбированного ингибитора;
- защитная пленка, образовавшаяся в результате химической реакции между поверхностью детали и ингибитором с возможным участием и продуктов коррозии;
- толстое (более 10^{-7} м) покрытие на поверхности детали.

В настоящее время установлен ряд закономерностей действия ингибиторов коррозии, позволяющих целенаправленно подходить к их подбору для использования в различных агрессивных средах.

В своей диссертации с целью повышения характеристик Лабомид-203 нами изучено влияние монобората калия (МБК) на процесс мойки деталей. МБК в сравнении с хроматами не представляет опасности для здоровья работников и включен в список веществ 4-го класса опасности, а хроматы – 2-го класса [85] (таблицы 2.2 и 2.3).

Таблица 2.2 – ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Наименование вредного вещества	ПДК, мг/м ³	Агрегатное состояние	Класс опасности	Особенности действия на организм
Бораты	10,0	Аэрозоль	IV	Фиброгенного действия
Хроматы	2,0	Аэрозоль	II	Вызывают аллергические заболевания в производственных условиях

Таблица 2.3 – ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест, в мг/м³

Наименование загрязняющего вещества	Разовая максимальная	Среднесуточная	Класс опасности
Бораты	0,03	0,01	IV
Хроматы	–	0,0015	II

Из таблиц 2.2 и 2.3 следует:

$$\alpha_{бората} = \sqrt{\frac{60}{\text{ПДК}_{с.с.} \cdot \text{ПДК}_{р.з.}}} = \sqrt{\frac{60}{0,01 \cdot 10,0}} = 24,5 \quad (2.7)$$

$$\alpha_{хромата} = \sqrt{\frac{60}{\text{ПДК}_{с.с.} \cdot \text{ПДК}_{р.з.}}} = \sqrt{\frac{60}{0,0015 \cdot 2,0}} = 141,4 \quad (2.8)$$

где $\alpha_{бората}$ и $\alpha_{хромата}$ – показатели относительной опасности аэрозолей МБК и хромата натрия в воздухе соответственно;

$\text{ПДК}_{с.с.}$ и $\text{ПДК}_{р.з.}$ – среднесуточная и разовая максимальная предельно-допустимые концентрации соответственно.

Как видно из выражений (2.7) и (2.8), относительная опасность аэрозолей МБК в воздухе намного ниже относительной опасности аэрозолей хромата натрия в воздухе.

2.5 Выводы по главе 2

1. Процесс разрушения загрязнений при мойке деталей погружением в раствор включает в себя сложные химические, физические и механические взаимодействия, направленные на эффективное отделение загрязнений от поверхности деталей и их последующее удаление.

2. Основными параметрами процесса погружной мойки являются продолжительность мойки, сила механического воздействия на загрязнения, концентрация синтетического моющего средства и активизирующей добавки в растворе и температура раствора. При изменении одного из параметров необходимо скорректировать остальные, иначе качество промывки снизится.

3. Физико-химические характеристики Лабомид-203 не соответствуют современным требованиям мойки, для их улучшения принято решение изучить влияние монобората калия на процесс мойки деталей, который в сравнении с хроматами не представляет опасности для здоровья работников и включен в список веществ 4-го класса опасности.

4. Мойка деталей погружением в раствор является распространённой технологией в производственных и ремонтных процессах и основывается на смачивании и растворении загрязнений на поверхностях деталей.

5. Существенным недостатком используемых при этом способе мойки выварочных ванн является низкий уровень возбуждения моющего раствора. В данной работе для возбуждения моющего раствора предлагается центрифуга, колеблющаяся корзина с деталями и комбинированный метод.

6. При выборе моющего средства для погружных моечных машин необходимо учитывать вид загрязнения, материалы детали и моечного оборудования.

3 ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ МЕТОДИКА

3.1 Устройство и принцип работы экспериментальной моечной установки. Методика определения степени очистки

Процесс очистки загрязнённых деталей в специализированных моечных установках осуществляется с применением различных режимов активации моющего раствора, что позволяет эффективно удалять эксплуатационные и другие загрязнения с деталей. «Очистка производится посредством механического, термического и химического воздействия» [12], параметры которого определяются программой исследования.

Экспериментальная моечная установка, собранная на кафедре технической эксплуатации транспорта ФГБОУ ВО «РГТУ им. П.А. Костычева», «применяется для исследования зависимости степени очистки деталей от способов активации раствора при мойке деталей погружением в лабораторных условиях» [27]. Его общий вид показан на рисунке 3.1, схема – на рисунке 3.2.



Рисунок 3.1 – Оригинальная моечная установка для мойки деталей погружением в раствор

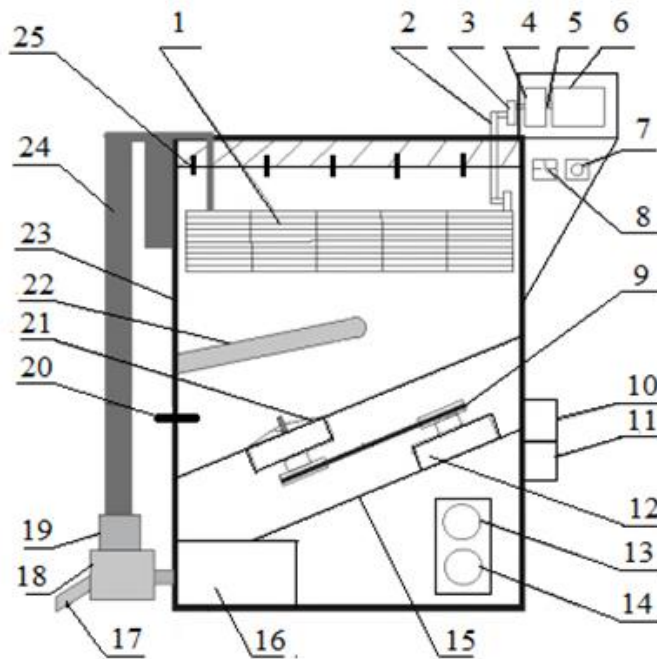


Рисунок 3.2 – Схема оригинальной моечной установки для мойки деталей: 1 – корзина для размещения деталей (частота колебания 2 с^{-1}); 2 – шатун привода корзины; 3 – кривошип; 4 – редуктор ФШ-10/260Е; 5 – соединительная муфта; 6 – двигатель КФ 160-4/56Р (номинальная мощность 60 Вт); 7 – выключатель двигателя привода КШМ; 8 – выключатель двигателя привода жидкостного насоса; 9 – клиноременная передача привода центрифуги; 10 – автомат общего питания на 220 В; 11 – автомат выключения ТЭНа; 12 – реверсивный электродвигатель ДАО (номинальная мощность 160 Вт); 13 – таймер-выключатель двигателя привода центрифуги; 14 – реверс-выключатель привода центрифуги; 15 – наклонная рама; 16 – двигатель привода жидкостного насоса; 17 – сливной кран; 18 – жидкостный насос; 19 – фильтр очистки моющего раствора; 20 – термометр; 21 – дисковый активатор моющего раствора (центрифуга); 22 – электроиндукционный нагреватель (ТЭН мощностью 2,0 кВт); 23 – емкость установки (30 л); 24 – система подачи жидкости под давлением; 25 – форсунки

«Установка предназначена для удаления эксплуатационных и технологических загрязнений с поверхностей деталей, имеющих габаритные размеры не более $300 \times 300 \times 300$ (мм), с помощью теплового, механического и

химического воздействия раствора. Общая масса деталей в корзине не должна превышать 20 кг.

Электроиндукционный нагреватель (ТЭН) 22 преобразует электрическую энергию в тепловую» [12], «благодаря чему осуществляется нагрев моющей жидкости в емкости установки 23. Температура моющей жидкости в емкости установки контролируется термометром 20.

«Установка может работать в четырех режимах:

I. Режим активации моющего раствора колебательным движением корзины с омываемыми деталями;

II. Режим активации моющего раствора центрифугой;

III. Комбинированный режим (комбинация I и II режимов);

IV. Режим удаления остатков моющего средства.

В качестве моющего раствора использовали» [27] 3%-й раствор Лабомид-203, предназначенный для очистки деталей от прочных смолистых отложений методом погружения с циркуляцией моечного раствора.

Описание процесса очистки деталей в *режиме I*. Процесс очистки загрязненных деталей в моечной установке, функционирующей в режиме I, осуществляется путем их погружения в рабочую емкость, заполненную моющим раствором заданного состава и концентрации. В качестве рабочего состава используется 3%-й раствор моющего средства Лабомид-203 с добавлением 5 г/л композиции МБК. Общий объем загружаемого раствора составляет 30 л. Для обеспечения высокой эффективности удаления загрязнений раствор подвергается предварительному нагреву до температуры, установленной программой исследования.

Ключевым аспектом процесса очистки на данном режиме является динамическое воздействие на загрязненные детали, обеспечиваемое системой механической активации раствора: КШМ: шатун (2), кривошип (3); редуктор ФШ-10/260Е (4); электродвигатель КФ 160-4/56R (6), корзина (1) с деталями, «Регулирование интенсивности механического воздействия на загрязнения

достигается путем изменения частоты колебаний корзины, что осуществляется за счет изменения передаточного числа редуктора.

Для обеспечения надежной фиксации деталей внутри корзины применяется специальный зажим» [12] в виде сетчатой конструкции, предотвращающей их перемещение в процессе очистки и обеспечивающей равномерное воздействие моющего раствора. Продолжительность процесса очистки определяется параметрами программы исследования и задается с помощью таймер-выключателя, что позволяет автоматизировать процесс и исключить влияние человеческого фактора на стабильность режимов работы установки.

Применение механически активируемого моющего раствора в сочетании с контролируемым температурным режимом и оптимальной кинематикой движения корзины обеспечивает повышенную эффективность удаления загрязнений с поверхностей деталей. Это способствует снижению временных и энергетических затрат на процесс очистки, а также улучшает качество подготовки деталей к последующей обработке или сборке.

Отличительной особенностью *режима II* является способ активации моющего раствора. В этом случае в установке задействован реверсивный электродвигатель 12, закреплённый на наклонной раме 15. Электродвигатель приводит в движение клиноремennую передачу 9, передающую крутящий момент на дисковый активатор (центрифугу) 21, расположенный внутри рабочей ёмкости 23. В результате создаётся направленный поток моющего раствора, интенсивно омывающий детали, загруженные в корзину. Использование центробежной активации раствора обеспечивает более равномерное распределение жидкости и улучшает процесс удаления загрязнений за счёт высокой скорости движения моющего состава. Как и в *режиме I*, продолжительность процесса определяется программой исследования и регулируется таймер-выключателем.

Режим III представляет собой комбинацию I и II режимов, где активация моющего раствора осуществляется с помощью КШМ и центрифуги.

Таким образом, все три рассмотренных режима обеспечивают эффективную очистку деталей за счёт комбинированного воздействия механических, термических и химических факторов. Выбор конкретного режима определяется типом загрязнений, материалом деталей и заданными параметрами очистки.

В *режиме IV* отработанный моющий раствор через сливной кран 17 сливается из емкости в специальный резервуар для повторного использования после отстаивания загрязнений [27]. Для удаления остатков моющего средства используется жидкостный насос 18, «подающий чистую воду под давлением через фильтры 19 и форсунки 25. Вода подаётся в виде струй, которые воздействуют на детали, уложенные в корзине» [12]. Таймер задаёт длительность данного этапа.

Для экспериментальных исследований применялись стальные пластины размерами 30×100×2 мм с одной шлифованной стороной, на которую кистью наносилось модельное загрязнение. Образцы собирались в пакеты по 5 штук с использованием кронштейнов. Параметры образцов (размеры и массы) измеряли с высокой точностью с использованием штангенциркуля и аналитических весов. В ходе экспериментов оценивалась степень очистки, противокоррозионная стойкость деталей, скорость коррозии и относительная погрешность измерений [54].

Для оценки эффективности удаления загрязнений с поверхностей металлических деталей была разработана и реализована *методика экспериментальных исследований*, включающая подготовку образцов, проведение очистки в моечной установке и анализ результатов с применением весового метода.

1. Подготовка образцов. На первом этапе исследования осуществлялась подготовка металлических пластин, на поверхность которых наносилось модельное загрязнение. Подготовка включала следующие этапы:

– удаление продуктов коррозии, сформировавшихся на поверхности образцов в процессе хранения или эксплуатации.

- обезжиривание рабочей поверхности пластин с использованием венской извести, что обеспечивало улучшение адгезии модельного загрязнения.
- промывка образцов холодной водой для удаления остатков обезжиривающего состава.
- сушка очищенных образцов между листами фильтровальной бумаги с целью предотвращения попадания посторонних загрязняющих частиц.
- измерение геометрических параметров образцов с помощью штангенциркуля с нониусом деления 0,1 мм.
- взвешивание подготовленных образцов с занесением полученных данных в таблицу исходных характеристик.

2. Нанесение модельного загрязнения. Для обеспечения стандартизации условий испытаний на каждую пластину наносился равномерный слой модельного загрязнения. Нанесение производилось только на одну сторону образца при помощи кисти, что исключало возможные ошибки при взвешивании и расчетах. После нанесения загрязнения образцы выдерживались в условиях открытого воздуха в течение 30 минут, что позволяло загрязняющему составу равномерно высохнуть и прочно закрепиться на поверхности.

После выдержки производилось вторичное взвешивание загрязненных образцов с регистрацией массы в таблицу данных (таблица 3.1).

3. Очистка образцов в моечной установке. Подготовленные образцы собирались в пакеты по 5 единиц и фиксировались в специальных кронштейнах, обеспечивающих их устойчивое положение внутри моечной камеры.

Очистка осуществлялась в лабораторной моечной установке, работающей с раствором моющего средства, подогретым до температуры, установленной программой испытаний.

На данном этапе проводились:

- заливка моющего раствора в рабочую емкость установки.
- нагрев раствора до требуемой температуры.

- установка образцов в моечную камеру.
- запуск процесса очистки, продолжительность которого определялась регламентом испытаний.

4. Определение степени удаления загрязнений. После завершения процесса очистки образцы извлекались из моечной установки, просушивались и взвешивались на аналитических весах с точностью до 0,0001 г.

Степень удаления загрязняющих веществ с поверхности рассчитывалась «по формуле:

$$C = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100\%,$$

где M_1 – масса образца до очистки, г;

M_2 – масса образца после очистки, г» [12].

Данный метод позволяет с высокой точностью оценить эффективность применяемого моющего состава и определить оптимальные параметры процесса очистки.

Разработанная методика испытаний обеспечивает стандартизированный подход к оценке эффективности очистки металлических поверхностей от загрязнений различной природы. Применение весового метода расчета позволяет минимизировать погрешности измерений и объективно оценивать степень очистки в зависимости от параметров моечного процесса.

Таблица 3.1 – Форма таблицы экспериментов

№ № п/ п	Наименование моющего средства	Концентрация моющего средства	Продолжительность мойки, мин	Температура моющего раствора, °С	Масса образца, г	
					до мойки (с загрязнением)	после мойки
1						
2						
...						
n						

3.2 Экспериментальные образцы и их подготовка

Образцы для экспериментов размерами $30 \times 100 \times 2$ мм в соответствии с [15] подготовили из стали 40Х (рисунок 3.3), т.к. основным материалом для многих деталей тракторов и автомобилей является сталь 40Х [120] (таблица 3.2).

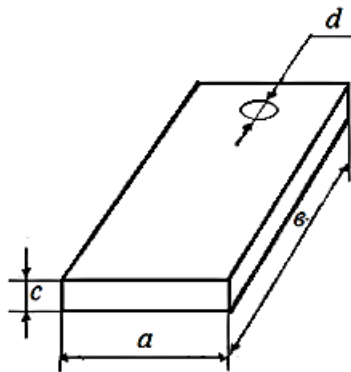


Рисунок 3.3 – Экспериментальный образец из стали 40Х: a – ширина, b – длина, c – толщина, d – диаметр отверстия

Таблица 3.2 – Материалы некоторых деталей основных агрегатов автотракторной техники

Наименование детали	Наименование и марка материалов некоторых деталей основных агрегатов			
	МТЗ-82 МТЗ-1221	ЗиЛ-130	КамАЗ-45144	К-701
1	2	3	4	5
Двигателя				
Блок цилиндров	СЧ	СЧ	СЧ-25	СЧ
Распредвал	Сталь 40Х	Сталь 40Х	Сталь 40Х	Сталь 20Х
Маховик	СЧ20	СЧ20	СЧ20	СЧ20
Шатун	Сталь 40ХН2МА	Сталь 40Р	Сталь 40Х	Сталь 40ХН2МА
Крышка шатуна	Сталь 40ХН2МА	Сталь 40ХН2МА	Сталь 40Х	Сталь 40ХН2МА
Болт шатунный	Сталь 40ХН2МА	Сталь 40ХН	Сталь 40ХН	Сталь 40ХН2МА
Гайка шатунного болта	Сталь 40ХН2МА	Сталь 40ХН2МА	Сталь 40ХН2МА	Сталь 40ХН2МА
Гильзы	Чугун	Чугун	Чугун	Фтористый чугун
Поршень	Сплав алюминия АК12 (АЛ25)	Сплав алюминия АЛ25	Сплав алюминия АЛ25	Сплав алюминия АЛ25
Палец поршневой	Сталь 12ХН3А	Сталь 12ХН3А	Сталь 12ХН3А	Сталь 12ХН3А

1	2	3	4	5
Головка блока цилиндров	Серый чугун	Сплав алюминия	Сплав алюминия	Серый чугун
Вал коленчатый	Сталь 40Х2АФЕ	Сталь 40Х2	Сталь 40Х	Сталь 40Х2АФЕ
Кольцо компрессионное	Специальный чугун	Специальный чугун	Специальный чугун	Специальный чугун
Кольцо масляное	Специальный чугун	Специальный чугун	Специальный чугун	Специальный чугун
Толкатели клапанов	Сталь 40Х	Сталь 40Х	Сталь 40Х	Сталь 40Х
Ведущего моста				
Шестерня венечная	Сталь 40Х	Сталь 20Х	Сталь 20Х	Сталь 40Х
Червяк	Сталь 40Х	Сталь 20Х	Сталь 40Х	Сталь 45Х
Ось червяка	Сталь 45Х	Сталь 40Х	Сталь 40Х	Сталь 45Х
Полуоси	Сталь 40Х	Сталь 40Х	Сталь 40Х	Сталь 60С2ХА
Шестерня солнечная	Сталь 40Х	Сталь 20Х	Сталь 40Х	Сталь 20Х
Ось сателлита	Сталь 40Х	Сталь 40Х	Сталь 40Х	Сталь 40Х
Дифференциал и его компоненты	Сталь 40Х	Сталь 40Х	Сталь 40Х	Сталь 20Х
Главная пара ведущего моста	Сталь 40Х	Сталь 20Х	Сталь 40Х	Сталь 45Х
Коробки переключения передач				
Корпус КПП	СЧ20	СЧ20	СЧ20	СЧ20
Первичный, вторичный и промежуточные валы	Сталь 40Х	Сталь 40Х	Сталь 40Х	Сталь 20Х
Шестерни	Сталь 40Х	Сталь 40Х	Сталь 40Х	Сталь 20Х
Вилки переключения передач	Сталь 40Х	Сталь 40Х	Сталь 40Х	Сталь 20Х

Подготовка образцов проводилась по методике из работы [12].

Параметры образцов (размеры и массы) измеряли с высокой точностью с использованием штангенциркуля и аналитических весов.

Количество повторности опытов $N = 5$ определили проведением предварительных исследований по методике, примененной в [54], используя данные таблиц 3.3 и 3.4 (Промежуточные расчеты для определения среднеквадратического отклонения, дисперсии и коэффициента вариации).

Таблица 3.3 – Результаты замеров масс образцов, подготовленных к экспериментам, и масса нанесенного на образцы загрязнения

№№ образцов	Масса чистого образца, г	Масса образца с искусственным загрязнением, г	Масса загрязнений, г
1	47,1534	50,2565	3,1031
2	46,9865	49,9917	3,0052
3	47,2543	50,2708	3,4537
4	46,8932	49,9654	3,0722
5	46,9955	50,2410	3,2455
6	46,8966	50,2365	3,3399
7	47,2581	50,4785	3,2204
8	47,1315	50,3256	3,1941
9	46,9785	50,2598	3,2813
10	47,2605	50,3225	3,0620
11	46,9632	50,3256	3,3624
Сумма:			35,3398

Таблица 3.4 – Промежуточные расчеты

№ п/п	x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	2	3	4
1	3,1031	-0,1096	0,012
2	3,0052	-0,2075	0,043
3	3,4537	0,2410	0,058
4	3,0722	-0,1405	0,020
5	3,2455	0,0328	0,001
6	3,3399	0,1272	0,016

1	2	3	4
7	3,2204	0,0077	0,00006
8	3,1941	-0,0186	0,0003
9	3,2813	0,0686	0,005
10	3,0620	-0,1507	0,0227
11	3,3624	0,1497	0,0224
Сумма:	35,3398	0	0,1105

В ходе экспериментов оценивалась степень очистки, противокоррозионная стойкость деталей, скорость коррозии и относительная погрешность измерений, для чего воспользовались методикой, примененной в [54]. Экспериментальные результаты оформляли в виде таблицы 3.1.

3.3 Методика планирования многофакторного эксперимента

Планирование многофакторного эксперимента представляет собой систематизированный подход, ориентированный на изучение влияния нескольких факторов на выходной параметр (отклик) исследуемого объекта или процесса. Целью является получение максимально достоверной информации при минимальных затратах времени, ресурсов и труда.

На начальном этапе формулируется цель исследования и конкретизируются задачи, решаемые в рамках эксперимента. Определяются:

- основные факторы (x_1, x_2, \dots, x_k), которые потенциально влияют на отклик;
- диапазоны изменения факторов;
- выходной параметр (y) – отклик системы.

Выбор типа эксперимента зависит от целей исследования:

- полный факторный эксперимент (ПФЭ) – когда исследуются всевозможные комбинации факторов;

- дробный факторный эксперимент (ДФЭ) – используется для снижения числа опытов за счет изучения только ключевых взаимодействий;
- планирование эксперимента с центральным композиционным планом (ЦКП).

Для каждого фактора задаются:

- нулевой уровень (x_0) – базовая точка, соответствующая среднему значению фактора;
- верхний уровень (+1) – максимальное значение фактора;
- нижний уровень (-1) – минимальное значение фактора.

Диапазон варьирования каждого фактора (Δx) выбирается таким образом, чтобы обеспечивать вариативность результатов в пределах допустимых границ параметров.

На основе выбранного типа эксперимента строится матрица планирования (таблица 3.5).

Для ПФЭ с k факторами и двумя уровнями (+1 и -1) количество опытов определяется формулой:

$$N = 2^k.$$

где k – число факторов.

Таблица 3.5 – Матрица планирования эксперимента плана $N = 2^i$

Наименование	Значения переменных			
	x_1	x_2	...	x_i
Основной уровень O_{x_i}	O_{x_1}	O_{x_2}	...	O_{x_i}
Интервал варьирования λ_i	λ_1	λ_2	...	λ_i
Верхний уровень «+»	$O_{x_1} + \lambda_1$	$O_{x_2} + \lambda_2$...	$O_{x_i} + \lambda_i$
Нижний уровень «-»	$O_{x_1} - \lambda_1$	$O_{x_2} - \lambda_2$...	$O_{x_i} - \lambda_i$

Для каждого опыта в матрице задаются значения факторов, включая фиктивный фактор (x_0), который используется для расчета свободного члена уравнения регрессии (b_0).

Определяется порядок проведения опытов (обычно случайный, чтобы исключить систематические ошибки). Каждый опыт повторяется несколько раз для повышения точности.

Для каждого опыта определяется значение отклика (y) и вычисляются его средние значения. Результаты заносятся в таблицу, на основании которой строятся регрессионные модели.

Для анализа данных используется уравнение регрессии:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + \dots + b_{(n-1)n}x_n,$$

где b_0 – свободный член;

b_1, b_2, \dots, b_n – коэффициенты, характеризующие влияние отдельных факторов;

$b_{12}, b_{13}, \dots, b_{(n-1)n}$ – коэффициенты, характеризующие влияние взаимодействий факторов.

Коэффициенты, характеризующие влияние отдельных факторов и взаимодействий факторов, оцениваются критерием Стьюдента, адекватность модели – критерием Фишера [1].

Модель будет адекватной, «если расчетное значение критерия Фишера больше его табличного значения» [54].

Используя уравнение регрессии, анализируется влияние факторов на выходной параметр. Коэффициенты уравнения позволяют определить силу и направление влияния каждого фактора.

Используя построенную модель, определяются оптимальные значения факторов, при которых достигаются максимальный или минимальный отклик (y).

Приведенная методика позволяет систематизировать проведение многофакторных экспериментов, обеспечивая достоверные результаты и возможность анализа сложных взаимодействий между факторами. Такой подход применяется в исследованиях, где требуется учитывать множество параметров, влияющих на целевые показатели.

3.4 Выводы по главе 3

1. Для изучения эффективности удаления загрязнений при различных способах активации раствора использовалась специально разработанная на кафедре технической эксплуатации техники РГАТУ им. П.А. Костычева моечная установка. Установка функционирует в следующих режимах:

I. Активация раствора за счет колебательных движений корзины с очищающимися деталями;

II. Активация раствора с использованием центрифуги;

III. Комбинированная активация раствора.

IV. Ополаскивание деталей.

2. На основании предварительных экспериментов установлено, что количество повторности опытов составляет 5.

3. Моющая способность раствора для каждого режима оценивается весовым методом, основанным на расчете процента удаления загрязнений.

4. С целью уточнения степени влияния параметров погружной мойки, их сочетаний на эффективность раствора, также оптимизации процесса необходимо проведение многофакторного эксперимента $N = 2^4$, где факторами являются параметры: концентрация СМС, концентрация МБК, температура раствора и продолжительность мойки.

4 ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ

4.1 Определение рациональной длительности погружной мойки

Поставлена задача определения длительности погружной мойки образцов в растворе Лабомида-203.

«Продолжительность мойки деталей раствором каустической соды в погружных моющих установках составляет 10-14 мин.» [100]. Лабомид-203 обладает более высокими показателями мойки, исходя из которого можно предположить, что длительность погружной мойки в его растворе будет меньше.

Данные о продолжительности мойки в растворах Лабомида-203 отсутствуют в литературе. Задача была решена экспериментально путём определения корреляционной зависимости степени очистки (y , %) от времени процесса (x , мин). В результате было сформировано уравнение регрессии:

$$y = f(x),$$

«где x – продолжительность экспериментов (независимая переменная), мин; y – степень очистки от загрязнения, %» [54].

Согласно программе исследований, длительностью погружной мойки в 3%-м растворе Лабомида-203 при температуре 80-85°C с использованием установки, изображенной на рисунке 3.1, задаемся в 2, 4, 6, 8, 10 мин. Результаты экспериментов сведены в таблицы 4.1 и 4.2.

Для анализа зависимостей использовалась методика построения точечных графиков $y = f(x)$ (рисунок 4.1) и аппроксимации данных уравнением линейной регрессии:

$$y = a + bx,$$

где a и b – коэффициенты регрессии.

Таблица 4.1 – Зависимость степени очистки образцов из стали 40X в 3%-м растворе Лабомид-203 температурой 80-85°C от продолжительности эксперимента (форма таблицы из [100])

Продолжительность эксперимента, мин	№№ образцов	Масса, г				Степень очистки, %		
		образца		загрязнения		каждого образца	средняя по вариантам	
		чистого M_0	до эксперимента		после эксперимента			
			с загрязнением M_1	$\Delta M_1 = M_1 - M_0$	M_2			$\Delta M_2 = M_2 - M_1$
2	1	47,1458	50,2564	3,1106	48,77887	1,633065	47,5	
	2	47,2365	51,3256	4,0891	49,31376	2,077263	49,2	
	3	46,8595	50,2374	3,3779	48,59236	1,732863	48,7	
	4	47,2354	50,5210	3,2856	48,92748	1,692084	48,5	
	5	46,9585	51,5205	4,5620	49,30337	2,344868	48,6	
4	6	46,7898	50,8520	4,0622	48,50811	1,718311	57,7	
	7	47,3264	50,3695	3,0431	48,60755	1,281145	57,9	
	8	47,1520	50,4236	3,2716	48,55879	1,406788	57,0	
	9	47,2134	49,8564	2,6430	48,3446	1,131204	57,2	
	10	46,9055	49,8546	2,9491	48,19721	1,291706	56,2	
6	11	47,3350	50,2451	2,9101	48,23422	0,899221	69,1	
	12	46,8985	49,5876	2,6891	47,74557	0,847067	68,5	
	13	47,2865	50,0521	2,7656	48,16873	0,882226	68,1	
	14	46,7925	50,1235	3,3310	47,82511	1,03261	69,0	
	15	47,1554	49,7564	2,6010	47,97992	0,824517	68,3	
8	16	46,8552	49,4850	2,6298	47,49687	0,641671	75,6	
	17	46,9116	49,5645	2,6529	47,54564	0,634043	76,1	
	18	47,1445	50,2530	3,1085	47,86567	0,721172	76,8	
	19	47,2635	50,4582	3,1947	48,05579	0,792286	75,2	
	20	47,1983	49,9955	2,7972	47,88921	0,690908	75,3	
10	21	46,9955	49,2589	2,2634	47,37122	0,375724	83,4	
	22	46,8992	49,0423	2,1431	47,24853	0,349325	83,7	
	23	46,9895	49,5231	2,5336	47,42021	0,430712	83,0	
	24	46,7875	49,2568	2,4693	47,21716	0,429658	82,6	
	25	47,2335	49,5852	2,3517	47,59096	0,357458	84,8	

Таблица 4.2 – Сводная таблица результатов исследования влияния продолжительности мойки в 3%-м растворе Лабомида-203 температурой 80-85°C на степень очистки образцов из стали 40X

Продолжительность мойки, x , мин	2	4	6	8	10
Степень очистки, y , %	48,5	57,2	68,6	75,8	83,5

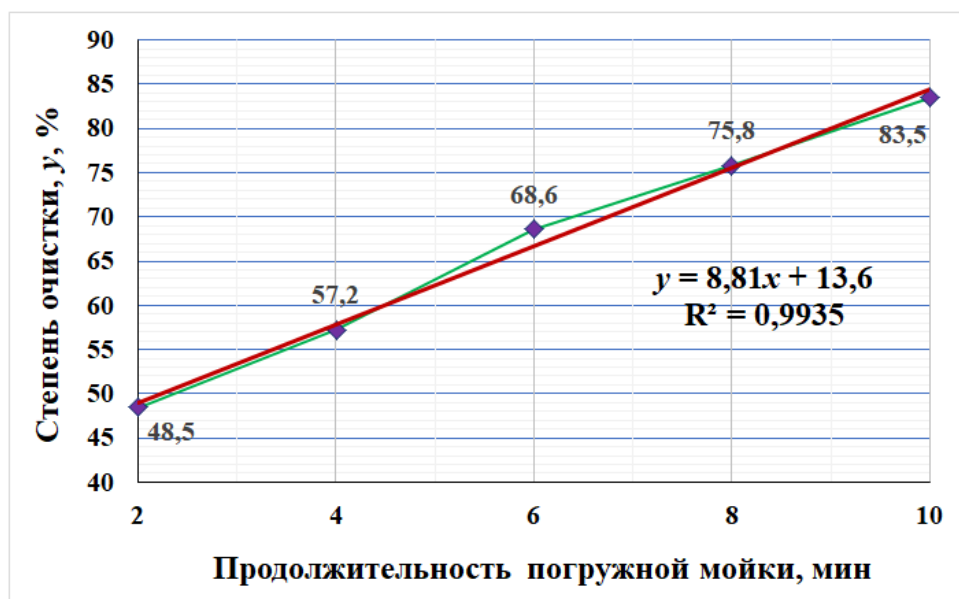


Рисунок 4.1 – График зависимости степени очистки (y , %) от продолжительности (x , мин) погружной мойки образцов из стали 40X в 3%-м растворе Лабомид-203 температурой 80-85°C

Гипотеза о прямолинейной зависимости проверялась через расчёт коэффициента корреляции (r), его ошибки (S_r) и критерия значимости ($t_{r\text{фак}}$):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}};$$

где \bar{x} , \bar{y} – средние значения переменных;

n – количество экспериментов.

$$S_r = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}},$$

$$t_{r\text{фак}} = \frac{r}{S_r}.$$

Ключевые параметры для проверки гипотезы:

- уровень значимости (p) равен 0,05.
- число степеней свободы ($v = n - 2$).
- табличное значение критерия ($t_{\text{табл.}(p=0,05; v=n-2)}$).

Если $t_{\text{фак.}} \geq t_{\text{табл.}(p=0,05; v=n-2)}$, гипотеза о линейной корреляции принимается. Это подтверждает корректность проведения корреляционного анализа и позволяет вычислить значения коэффициентов a и b , обеспечивая точную оценку зависимости между временем мойки и степенью очистки

Результаты расчетов:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{30}{5} = 6,0 \text{ мин.};$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} = \frac{333,6}{5} = 66,72\%;$$

- коэффициент корреляции:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{177,2}{186,5} = 0,95;$$

- ошибка коэффициента корреляции:

$$S_r = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}} = \sqrt{\frac{1-0,95^2}{5-2}} = \sqrt{0,0325} = 0,18;$$

$$t_p = \frac{r}{S_r} = \frac{0,95}{0,18} = 5,23;$$

$$t_{\text{табл.}(p=0,05; v=n-2=4-2=2)} = 4,30$$

$$t_p > t_{\text{табл.}(p=0,05; v=n-2=4-2=2)} .$$

Регрессионный анализ:

$$\begin{cases} na + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i, \\ a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i y_i. \end{cases}$$

Получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} 5a + 30b = 333,6 \\ 30a + 220b = 2178,8, \end{cases}$$

решая которую получим уравнение зависимости степени очистки от длительности мойки:

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

«Для проверки правильности вычислений по данному уравнению определим результаты расчетных выходов в точках эксперимента» [100].

$$[\sum_{i=1}^n y_i = 333,6] \approx [\sum_{i=1}^n \hat{y}_i = 332,5].$$

Равенство сумм доказывает правильность расчетов.

Очистка деталей в ремонтном производстве не требует достижения идеальной чистоты поверхностей, так как такая степень на практике недостижима.

«Степень очистки определяется технологическими требованиями [30]. В связи с этим определяем рациональную продолжительность мойки из условия 80%-й степени очистки ($y = 80\%$)» [12]:

$$13,6 + 8,81x = 80.$$

Откуда:

$$x = 8,7 \text{ мин.} \approx 9,0 \text{ мин.}$$

Длительность погружной мойки принимаем равной 9 минутам.

Аналогичные исследования проведены с использованием образцов из стали 20Х, результаты которых не отличались от результатов исследований с образцами из стали 40Х.

4.2 Обоснование рациональной температуры раствора Лабомид-203

Рациональная температура погружной мойки обоснована рядом экспериментов по установлению влияния температуры раствора (x), варьируемой в диапазоне от комнатной температуры до 100°C , на степень очистки (y):

$$y = f(x),$$

Продолжительность каждого опыта была одинаковой для всех температурных режимов. Эксперименты проведены по методике подраздела 4.1,

длительность эксперимента в каждом варианте составил 9 мин., результаты отражены на рисунке 4.2 и в таблицах 4.3, 4.4.

«По точкам расположения результатов экспериментов на графике видно, что зависимость аппроксимируется уравнением полиномиальной зависимости [100] третьей степени:

$$y = -3,4333x^3 + 29x^2 - 50,767x + 41,38.$$

Из решения этого уравнения для получения 80%-й очистки деталей следует:

$$-3,4333x^3 + 29x^2 - 50,767x + 41,38 = 80.$$

$$x = 78^\circ\text{C}.$$

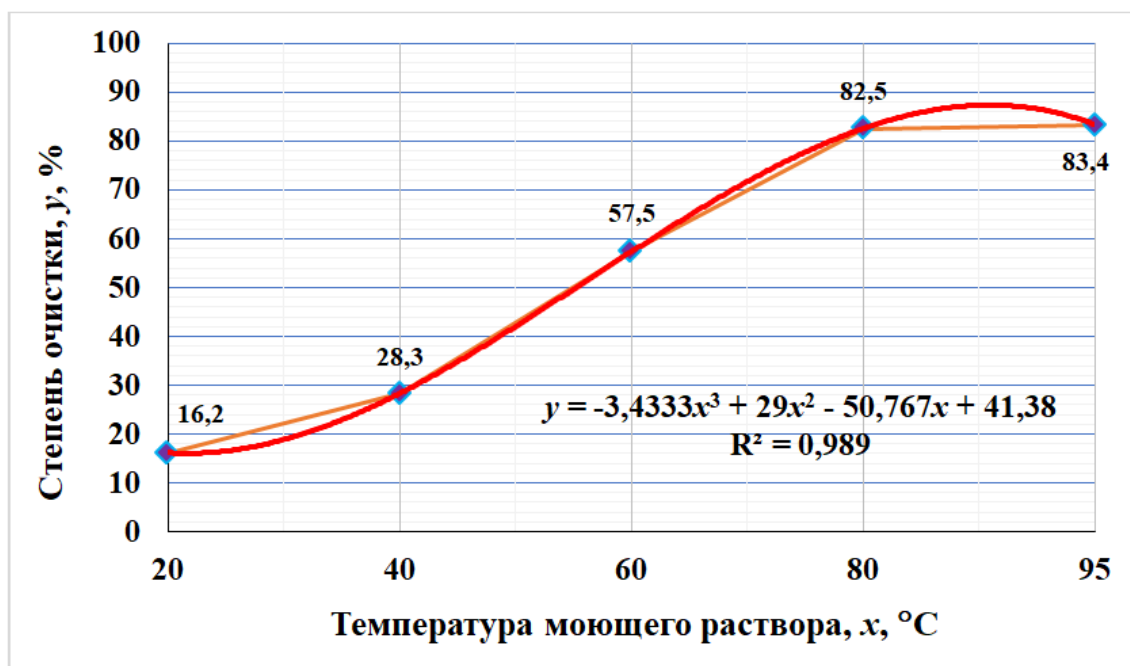


Рисунок 4.2 – График зависимости степени очистки образцов (y, %) от температуры 3%-го раствора Лабомида-203 (x, °C)

Таблица 4.3 – Зависимость степени очистки образцов от температуры 3%-го раствора Лабомида-203 (форма таблицы из [100])

Температура моющего раствора, °С	№№ образцов	Масса, г					Степень очистки, %	
		чистого M ₀	образца		образца после эксперимента, M ₂	загрязнения после мойки ΔM ₂ =M ₁ -M ₂	каждого образца	средняя по вариантам
			загрязнения					
			до эксперимента					
с загрязнением M ₁		ΔM ₁ =M ₁ -M ₀						
20	1	47,1458	50,2587	3,1129	49,7451	2,5993	16,5	16,2
	2	47,2365	50,8652	3,6287	50,2882	3,0517	15,9	
	3	46,8595	51,1236	4,2641	50,4115	3,5520	16,7	
	4	47,2354	51,3527	4,1173	50,6816	3,4462	16,3	
	5	46,9585	51,6205	4,6620	50,8932	3,9347	15,6	
40	6	46,7898	50,5912	3,8014	49,5306	2,7408	27,9	28,3
	7	47,3264	51,4205	4,0941	50,2537	2,9273	28,5	
	8	47,1520	50,6523	3,5003	49,6687	2,5167	28,1	
	9	47,2134	50,3564	3,1430	49,4764	2,2630	28,0	
	10	46,9055	50,4285	3,5230	49,4068	2,5013	29,0	
60	11	47,3350	51,4268	4,0918	49,0863	1,7513	57,2	57,5
	12	46,8985	50,8520	3,9535	48,5590	1,6605	58,0	
	13	47,2865	50,6231	3,3366	48,7212	1,4347	57,0	
	14	46,7925	49,8546	3,0621	48,0694	1,2769	58,3	
	15	47,1554	50,4520	3,2966	48,5729	1,4175	57,0	
80	16	46,8552	49,7562	2,9010	47,3571	0,5019	82,7	82,5
	17	46,9116	49,7854	2,8738	47,4318	0,5202	81,9	
	18	47,1445	50,3587	3,2142	47,7391	0,5946	81,5	
	19	47,2635	50,4582	3,1947	47,8034	0,5399	83,1	
	20	47,1983	50,6458	3,4475	47,7740	0,5757	83,3	
95	21	46,9955	50,1253	3,1298	47,5119	0,5164	83,5	83,4
	22	46,8992	51,0254	4,1262	47,5965	0,6973	83,1	
	23	46,9895	50,4582	3,4687	47,5861	0,5966	82,8	
	24	46,7875	50,2350	3,4475	47,3425	0,5550	83,9	
	25	47,2335	51,2316	3,9981	47,8852	0,6517	83,7	

Таблица 4.4 – Сводная таблица результатов исследования влияния температуры 3%-го раствора Лабомид-203 на степень очистки образцов

Температура моющего раствора, x , °С	20	40	60	80	95
Степень очистки, y , %	16,2	28,3	57,5	82,5	83,4

На практике температуру раствора Лабомид-203 в погружных моечных машинах допускается поддерживать в интервале 75-95°С.

4.3 Определение рациональной концентрации Лабомид-203 в растворе при погружной мойке

Экспериментально изучена зависимость эффективности раствора температурой 80-85°С от концентрации Лабомид-203 при длительности мойки 9 мин. Результаты сведены в таблицу 4.5. Статистическая обработка проведена по методике работы [54].

Выполнена оценка корреляционной и регрессионной зависимости степени очистки (y , %) от концентрации Лабомид-203 в растворе (x , %) (рисунок 4.3).

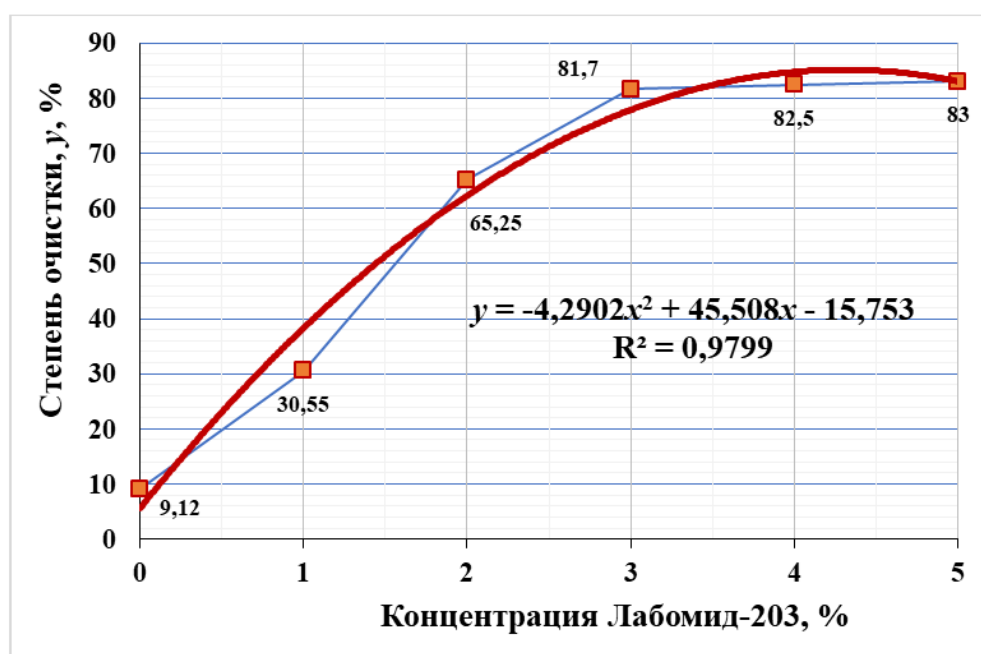


Рисунок 4.3 – Зависимость степени очистки образцов (y , %) от концентрации Лабомид-203 (x , %) в моющем растворе при температуре 80-85°С и продолжительности мойки 9 минут

Таблица 4.5 – Зависимость степени очистки образцов от концентрации Лабомид-203 в моющем растворе при температуре 80-85°C и продолжительности мойки 9 минут (форма таблицы из [100])

Концентрация Лабомид-203 в моющем растворе, x_i , %	№№ образцов	Масса, г					Степень очистки, y_i , %	
		образца		загрязнения	образца после эксперимента, M_2	загрязнения после эксперимента $\Delta M_2 = M_1 - M_2$	каждого образца	средняя по вариантам
		чистого M_0	до эксперимента					
			с загрязнением M_1	$\Delta M_1 = M_1 - M_0$				
0,0 (контроль)	1	47,1458	50,9145	3,7687	50,5783	3,4325	8,92	9,12
	2	47,2365	50,5946	3,3581	50,2981	3,0616	8,83	
	3	46,8595	50,1255	3,2660	49,8283	2,9688	9,10	
	4	47,2354	50,6985	3,4631	50,3782	3,1428	9,25	
	5	46,9585	50,4526	3,4941	50,1067	3,1482	9,90	
1,0	6	46,7898	49,5984	2,8086	48,7600	1,9702	29,85	30,55
	7	47,3264	50,4982	3,1718	49,5080	2,1816	31,22	
	8	47,1520	50,9985	3,8465	49,8042	2,6522	31,05	
	9	47,2134	51,0145	3,8011	49,8419	2,6285	30,85	
	10	46,9055	51,1225	4,2170	49,8667	2,9612	29,78	
2,0	11	47,3350	50,9885	3,6535	48,6020	1,2670	65,32	65,25
	12	46,8985	50,9746	4,0761	48,3312	1,4327	64,85	
	13	47,2865	51,3145	4,0280	48,6979	1,4114	64,96	
	14	46,7925	51,3621	4,5696	48,3315	1,5390	66,32	
	15	47,1554	50,3526	3,1972	48,2808	1,1254	64,80	

Продолжение таблицы 4.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3,0	16	46,8552	50,6547	3,7995	47,5779	0,7227	80,98	81,70
	17	46,9116	50,0564	3,1448	47,4729	0,5613	82,15	
	18	47,1445	51,0055	3,8610	47,8302	0,6857	82,24	
	19	47,2635	50,8630	3,5995	47,9348	0,6713	81,35	
	20	47,1983	50,2595	3,0612	47,7561	0,5578	81,78	
4,0	21	46,9955	50,6243	3,6288	47,6073	0,6118	83,14	82,50
	22	46,8992	50,1325	3,2333	47,4828	0,5836	81,95	
	23	46,9895	49,9832	2,9937	47,5038	0,5143	82,82	
	24	46,7875	50,8256	4,0381	47,5245	0,7370	81,75	
	25	47,2335	50,8845	3,6510	47,8600	0,6265	82,84	
5,0	26	47,2245	50,2224	2,9979	47,7296	0,5051	83,15	83,00
	27	46,8668	50,4646	3,5978	47,5194	0,6526	81,86	
	28	46,9595	50,3496	3,3901	47,5409	0,5814	82,85	
	29	47,1115	50,4265	3,3150	47,6678	0,5563	83,22	
	30	47,2555	50,3552	3,0997	47,7539	0,4984	83,92	

Изучая график можно установить рациональное значение концентрации Лабомид-203 (x , %) в растворе, которое будет в интервале 3-4%.

Уравнение регрессии при коэффициенте достоверности $R^2 = 0,9799$ имеет вид:

$$y = -4,2902x^2 + 45,508x - 15,753 \quad (4.1)$$

Значения выходов, полученные расчетным путем, используя уравнение (4.1), отражены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Сводная таблица результатов исследования влияния концентрации Лабомид-203 в моющем растворе на степень очистки образцов (форма таблицы из [100])

Концентрация Лабомид-203 в моющем растворе, x , %	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	$\sum_{i=1}^n x_i = 15$
Степень очистки, %:							
– фактическая, y_i	9,12	30,55	65,25	81,70	82,50	83,00	$\sum_{i=1}^n y_i = 352,12$
– расчетная по уравнению, \hat{y}_i	-15,753	25,57	58,21	81,26	97,74	104,64	$\sum_{i=1}^n \hat{y}_i = 351,57$

$$\sum_{i=1}^n y_i = 352,12 \approx \sum_{i=1}^n \hat{y}_i = 351,57$$

Равенство сумм экспериментальных и расчетных выходов свидетельствует о правильности расчетов.

Относительное отклонение, равно:

$$\varepsilon = \frac{352,12 - 351,57}{352,12} \cdot 100\% = 0,16\%$$

находится в допустимом интервале.

Решая уравнение (4.1), определяем концентрацию Лабомид-203 в растворе для получения 80%-й очистки:

$$-4,2902x^2 + 45,508x - 15,753 = 80,$$

откуда $x = 3,2\%$.

Концентрация Лабомид-203 в растворе принимается $x = 3,0\%$.

Проверка стойкости к коррозии образцов из стали 40Х, вымытых в растворах при различных концентрациях Лабомид-203, выполнена методикой, примененной в работе [54]. Результаты проверки отражены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Результаты исследования влияния концентрации Лабомид-203 в моющем растворе на коррозионную стойкость образцов из стали Ст 40Х (форма таблицы из [100])

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

Раствор Лабомид-203 продемонстрировал умеренные ингибирующие свойства по отношению к стальным изделиям. Увеличение концентрации Лабомид-203 способствовало незначительному улучшению ингибирующих характеристик раствора.

Наилучшие очистные и защитные свойства раствора проявляются в присутствии Лабомид-203 концентрацией от 3 до 4%. По экономическим соображениям и с незначительным отклонением значений показателей, характеризующих эти свойства, при этих концентрациях (таблицы 4.6, 4.7), принимается концентрация Лабомид-203 в растворе, равная 3% [54].

4.4 Изучение влияния способов активации на эффективность 3%-го раствора Лабомид-203

Как было отмечено в главе 3, оригинальная моечная машина может работать в трех режимах активации моющего раствора: центрифугой,

колебанием корзины с деталями и комбинированным способом (комбинация двух способов). Представляет определенный интерес влияние этих способов активации раствора на степень очистки образцов в 3%-м растворе Лабомид-203 (таблица 4.8, рисунок 4.4).

Условия экспериментов:

- 3%-й раствор Лабомид-203;
- температура моющего раствора 80-85°C;
- оригинальная моющая установка;
- продолжительность мойки 9 минут;
- способы активации раствора: центрифугой, колебанием корзины с деталями, комбинированным способом;
- загрязнение – искусственное;
- количество повторности в каждом варианте – 5.

Изучаемый параметр: степень очистки (%).

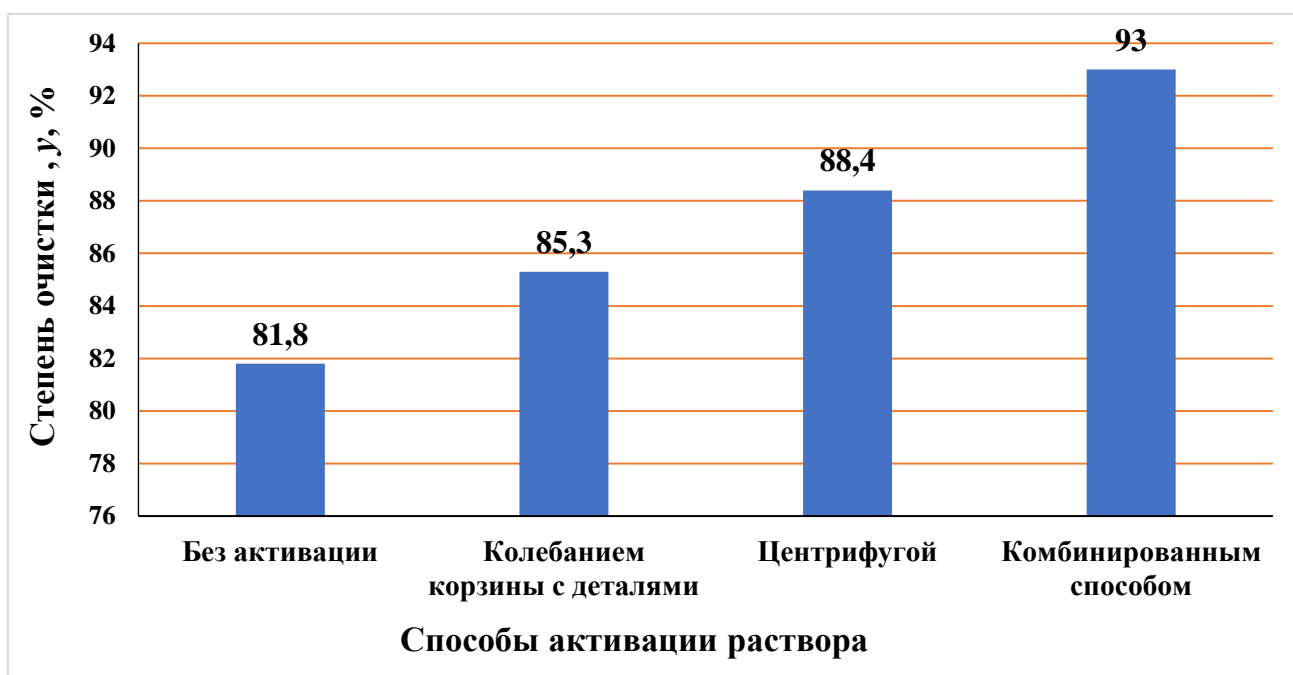


Рисунок 4.4 – Зависимость степени очистки образцов в 3%-м водном растворе Лабомид-203 от способов активации раствора

Таблица 4.8 – Зависимость степени очистки образцов от способов активации 3%-го раствора Лабомида-203 (форма таблицы из [100])

Способ активации моющего раствора	№№ образцов	Масса, г					Степень очистки, %	
		образца		загрязнения	образца после эксперимента, M_2	загрязнения после мойки $\Delta M_2 = M_1 - M_2$	каждого образца	средняя по вариантам
		чистого M_0	до эксперимента					
			с загрязнением M_1	$\Delta M_1 = M_1 - M_0$				
Без активации	1	47,1458	50,4587	3,3129	47,7587	0,6129	81,5	81,8
	2	47,2365	51,0125	3,7760	47,9577	0,7212	80,9	
	3	46,8595	51,3652	4,5057	47,6840	0,8245	81,7	
	4	47,2354	51,5230	4,2876	47,9943	0,7589	82,3	
	5	46,9585	51,4235	4,4650	47,7354	0,7769	82,6	
Колебание корзины с деталями	6	46,7898	50,4652	3,6754	47,3080	0,5182	85,9	85,3
	7	47,3264	51,6305	4,3041	47,9505	0,6241	85,5	
	8	47,1520	50,7568	3,6048	47,6531	0,5011	86,1	
	9	47,2134	50,8523	3,6389	47,7592	0,5458	85,0	
	10	46,9055	51,6547	4,7492	47,6654	0,7599	84,0	
Центрифуга	11	47,3350	51,8526	4,5176	47,8681	0,5331	88,2	88,4
	12	46,8985	51,3215	4,4230	47,3850	0,4865	89,0	
	13	47,2865	50,7523	3,4658	47,7024	0,4159	88,0	
	14	46,7925	51,0325	4,2400	47,2886	0,4961	88,3	
	15	47,1554	50,8946	3,7392	47,5854	0,4300	88,5	
Комбинированный способ	16	46,8552	50,2315	3,3763	47,1017	0,2465	92,7	93,0
	17	46,9116	50,2052	3,2936	47,1454	0,2338	92,9	
	18	47,1445	50,6931	3,5486	47,3752	0,2307	93,5	
	19	47,2635	50,8452	3,5817	47,5106	0,2471	93,1	
	20	47,1983	50,7326	3,5343	47,4528	0,2545	92,8	

Анализ рисунка 4.4 позволяет сделать заключение, что активация моющего раствора оказывает значительное влияние на степень очистки образцов. Наиболее эффективным из рассмотренных способов активации 3%-го водного раствора Лабомид-203 является комбинированный способ (комбинация активации колебанием корзины и центрифугой одновременно), которая обеспечивает повышение степени очистки образцов до 93,0% (на 14%), а без активации этого же раствора – 81,8%.

4.5 Исследование влияния монобората калия на характеристики 3%-го раствора Лабомид-203

В главе 2 диссертации аргументировано, «что основным способом улучшения моющих и противокоррозионных свойств растворов СМС является использование специальных добавок» [54]. Изучение работ [14, 58, 85, 87, 88, 90, 91, 104] дает основание считать, «что бораты щелочных металлов проявляют моющие свойства в водных средах и являются экологически безвредными ингибиторными добавками» [72], что послужило основанием для изучения МБК как добавки, повышающей эффективность 3%-го раствора Лабомид-203. Согласно программе исследований обоснована рациональная концентрация МБК в растворе.

Требования к экспериментам аналогичны с требованиями в подразделе 4.4:

Концентрацию МБК в растворе задаем произвольно – 1; 2; 3; 4; 5; 6 г/л;
«Статистическая обработка и анализ результатов экспериментальных исследований проводилась методами математической статистики» [54] идентично предыдущим подразделам.

Полученные результаты отражены в таблицах 4.9, 4.10, и на графике рисунка 4.5.

Таблица 4.9 – Зависимость степени очистки образцов в 3%-м водном растворе Лабомида-203 от концентрации МБК при температуре 80-85°C (форма таблицы из [100])

Концентрация МБК в моющем растворе, x_i , г/л	№№ образцов	Масса, г					Степень очистки, y_i , %	
		образца		загрязнения	образца после эксперимента, M_2	загрязнения после мойки $\Delta M_2 = M_1 - M_2$	каждого образца	средняя по вариантам
		чистого M_0	до эксперимента с загрязнением M_1	$\Delta M_1 = M_1 - M_0$				
1,0	1	47,1458	49,8562	2,7104	47,5251	0,4255	84,3	84,2
	2	47,2365	49,5632	2,3267	47,6329	0,3793	83,7	
	3	46,8595	49,3215	2,4620	47,2314	0,3964	83,9	
	4	47,2354	49,6823	2,4469	47,6495	0,3719	84,8	
	5	46,9585	49,5962	2,6377	47,2506	0,4141	84,3	
2,0	6	46,7898	48,9864	2,1966	47,1154	0,2921	86,7	86,4
	7	47,3264	49,6358	2,3094	47,7050	0,3256	85,9	
	8	47,1520	49,8952	2,7432	47,4003	0,3786	86,2	
	9	47,2134	49,1236	1,9102	47,6206	0,2483	87,0	
	10	46,9055	49,8564	2,9509	47,1525	0,4072	86,2	
3,0	11	47,3350	49,6875	2,3525	47,5757	0,2470	89,5	89,2
	12	46,8985	49,2356	2,3371	47,1518	0,2407	89,7	
	13	47,2865	49,5684	2,2819	47,5553	0,2533	88,9	
	14	46,7925	49,2585	2,4660	47,0689	0,2688	89,1	
	15	47,1554	49,6230	2,4676	47,3193	0,2764	88,8	
4,0	16	46,8552	48,9563	2,1011	47,0206	0,1639	92,2	92,4
	17	46,9116	49,1473	2,2357	47,0438	0,1654	92,6	
	18	47,1445	48,7568	1,6123	47,3291	0,1322	91,8	
	19	47,2635	49,7584	2,4949	47,4381	0,1846	92,6	
	20	47,1983	49,6235	2,4252	47,3673	0,1746	92,8	
5,0	21	46,9955	49,5957	2,6002	47,1334	0,1690	93,5	93,8
	22	46,8992	49,2361	2,3369	47,0549	0,1379	94,1	
	23	46,9895	49,4615	2,4720	47,1598	0,1557	93,7	
	24	46,7875	49,6253	2,8378	46,9352	0,1703	94,0	
	25	47,2335	49,5778	2,3443	47,3514	0,1477	93,7	
6,0	26	47,2245	49,2581	2,0336	47,3751	0,1179	94,2	94,0
	27	46,8668	49,3776	2,5108	47,0400	0,1506	94,0	
	28	46,9595	49,7531	2,7936	47,0911	0,1732	93,8	
	29	47,1115	49,2693	2,1578	47,2483	0,1316	93,9	
	30	47,2555	49,5735	2,3180	47,2555	0,1368	94,1	

Таблица 4.10 – Сводная таблица результатов исследования влияния концентрации МБК в 3%-м водном растворе Лабомида-203 на степень очистки образцов при температуре раствора 80-85°C

Концентрация МБК в моющем растворе, x , г/л	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	Сумма
Степень очистки, %:							
– фактическая, y_i	84,2	86,4	89,2	92,4	93,8	94,0	$\sum_{i=1}^n y_i = 540,0$
– расчетная по уравнению, \hat{y}_i	84,2	86,33	89,33	92,16	93,95	93,98	$\sum_{i=1}^n \hat{y}_i = 539,95$

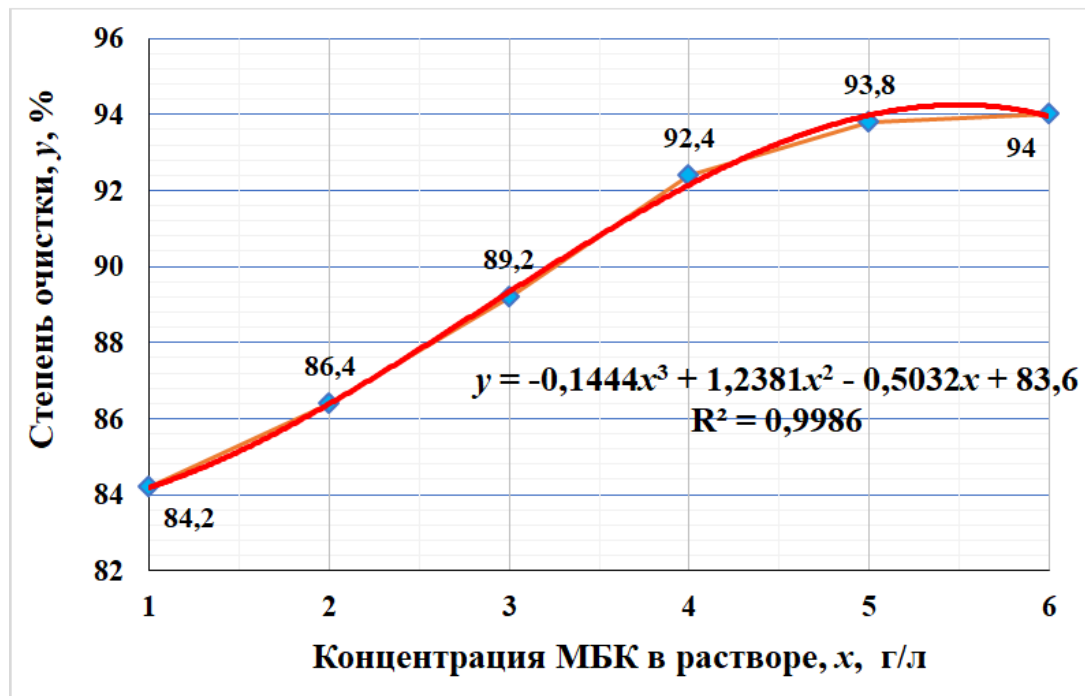


Рисунок 4.5 – Зависимость степени очистки образцов в 3%-м водном растворе Лабомида-203 от концентрации МБК при температуре раствора 80-85°C

По уравнению зависимости:

$$y = -0,1444x^3 + 1,2381x^2 - 0,5032x + 83,6$$

получили расчетные значения степени очистки (таблица 4.10) и, чтобы удостовериться в правильности вычислений сравнили их сумму с суммой экспериментально полученных значений:

$$[\sum_{i=1}^n y_i = 540,0] \approx [\sum_{i=1}^n \hat{y}_i = 539,95] .$$

Расчеты верны.

Проведенный анализ результатов и графиков позволяет сделать заключение, что присутствие МБК в 3%-м растворе Лабомид-203 повышает степень очистки образцов на 12% по полиномиальному характеру, что следует из сравнения рисунков 4.5 и 4.3.

Степень очистки образцов в 3%-м растворе Лабомид-203 при концентрации МБК 5 г/л достигает 93,8% (повышается на 15%) в сравнении со степенью очистки деталей в этом же растворе без МБК, составляющей 81,7% (рисунок 4.3).

Исследования, проведенные для изучения стойкости вымытых в многокомпонентном растворе образцов к коррозии, позволили получить следующие результаты (таблица 4.11).

Таблица 4.11 – Результаты исследования коррозионной стойкости образцов из стали Ст40Х после мойки в 3%-м растворе Лабомид-203 в смеси с МБК при различной концентрации

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

Наличие МБК концентрацией 5 г/л в составе многокомпонентного раствора усиливает ингибиторные способности раствора более чем в 2 раза.

4.6 Корректировка параметров погружной мойки добавкой монобората калия и комбинированной активацией раствора

В соответствии с программой исследований исследование влияния добавки монобората калия (МБК) и комбинированной активации раствора на продолжительность мойки проводилось в 3%-м растворе Лабомида-203 с добавлением МБК (концентрация 5 г/л). Полученное уравнение регрессии зависимости степени очистки (y , %) от продолжительности мойки (x , мин) позволило определить оптимальное время достижения требуемой степени очистки.

Длительность мойки в экспериментах определена программой исследований и составляла 2, 4, 6, 8, 10 мин.

Результаты экспериментов представлены в таблице 4.12, сводной таблице 4.13 и на рисунке 4.6.

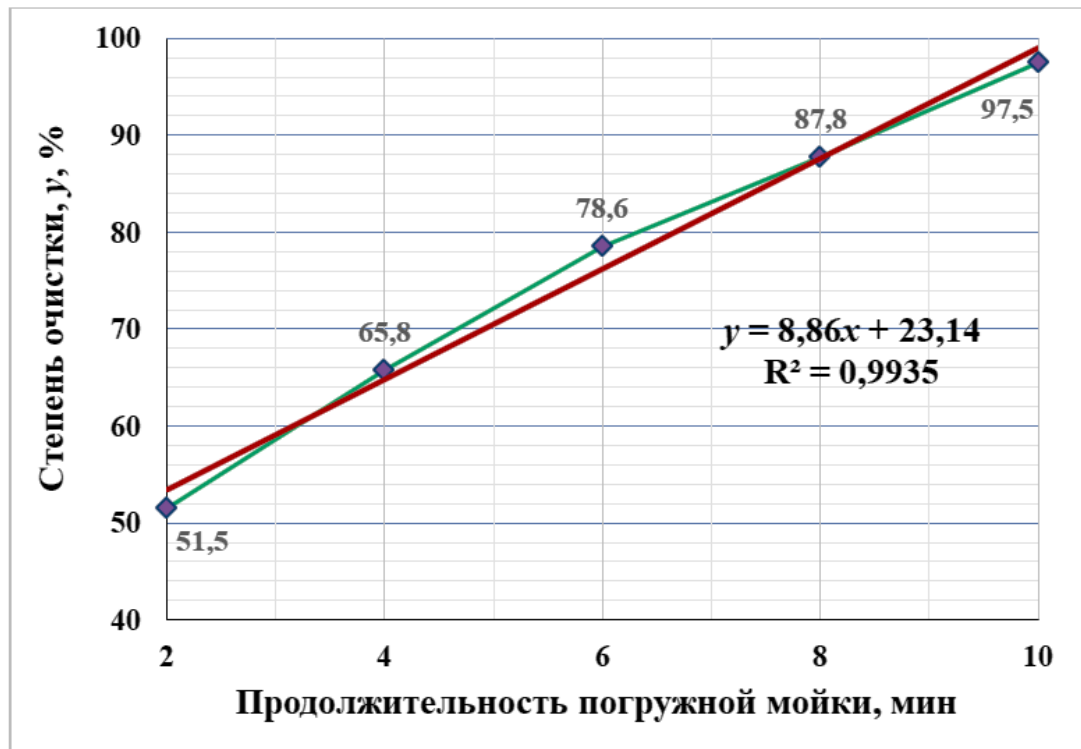


Рисунок 4.6 – График зависимости степени очистки (y , %) от продолжительности (x , мин) погружной мойки образцов из стали 40X в 3%-м растворе Лабомид-203 температурой 80-85°C при комбинированной активации раствора

Таблица 4.12 – Зависимость степени очистки образцов из стали 40Х от продолжительности мойки в 3%-м растворе Лабомид-203 с добавкой МБК концентрацией 5 г/л, температурой 85-90°С при комбинированной активации раствора (форма таблицы из [100])

Продолжительность эксперимента, мин	№№ образцов	Масса, г					Степень очистки, %	
		образца		загрязнения	образца		каждого образца	средняя по вариантам
		чистого M_0	до эксперимента		после эксперимента			
			с загрязнением M_1	$\Delta M_1 = M_1 - M_0$	M_2	$\Delta M_2 = M_2 - M_1$		
2	1	47,1458	50,4235	3,2777	48,3999	1,5799	51,8	51,5
	2	47,2365	51,4235	4,1870	48,4160	2,0600	50,8	
	3	46,8595	50,3652	3,5057	48,2180	1,7283	50,7	
	4	47,2354	50,6520	3,4166	47,9289	1,6229	52,5	
	5	46,9585	51,5234	4,5649	47,9561	2,2048	51,7	
4	6	46,7898	50,9876	4,1978	47,5152	1,4273	66,0	65,8
	7	47,3264	50,5025	3,1761	47,8668	1,0735	66,2	
	8	47,1520	50,7530	3,6010	47,5204	1,2640	64,9	
	9	47,2134	50,1254	2,9120	47,7916	1,0046	65,5	
	10	46,9055	49,9512	3,0457	47,2107	1,0234	66,4	
6	11	47,3350	50,3212	2,9862	47,2627	0,6211	79,2	78,6
	12	46,8985	49,7536	2,8551	47,5481	0,6167	78,4	
	13	47,2865	50,0236	2,7371	47,7135	0,5803	78,8	
	14	46,7925	50,2586	3,4661	47,5352	0,7279	79,0	
	15	47,1554	49,9955	2,8401	47,0500	0,6362	77,6	
8	16	46,8552	49,6545	2,7993	46,9545	0,3555	87,3	87,8
	17	46,9116	49,8873	2,9757	47,0586	0,3511	88,2	
	18	47,1445	50,6236	3,4791	46,8321	0,4036	88,4	
	19	47,2635	50,7520	3,4885	47,3278	0,4500	87,1	
	20	47,1983	50,0055	2,8072	48,3999	0,3369	88,0	
10	21	46,9955	49,5884	2,5929	48,4160	0,0545	97,9	97,5
	22	46,8992	49,6622	2,7630	48,2180	0,0553	98,0	
	23	46,9895	49,4587	2,4692	47,9289	0,0691	97,2	
	24	46,7875	49,0155	2,2280	47,9561	0,0446	98,0	
	25	47,2335	49,8530	2,6195	47,5152	0,0943	96,4	

Таблица 4.15 – Сводная таблица результатов исследования влияния температуры 3%-го раствора Лабомид-203 с добавкой МБК концентрацией 5 г/л, при комбинированной активации раствора и продолжительности мойки 6 минут на степень очистки

Продолжительность мойки, x , мин	2	4	6	8	10
Степень очистки, y , %	51,5	65,8	78,6	87,8	97,5

График (рисунок 4.6) демонстрирует линейную зависимость между степенью очистки и продолжительностью погружной мойки, аппроксимированную уравнением:

$$y = 8,86x + 23,14.$$

«Правильность вычислений определена сравнением сумм расчетных и экспериментально полученных значений степени очистки» [100].

$$[\sum_{i=1}^n y_i = 381,2] \approx [\sum_{i=1}^n \hat{y}_i = 381,5].$$

Расчеты верные.

«Решая полученное уравнение, определим продолжительность мойки из условия 80%-й степени очистки деталей» [100]:

$$23,14 + 8,86x = 80,$$

следовательно, $x = 6,4$ мин. $\approx 6,0$ мин.

Сравнивая рисунок 4.6 с рисунком 4.1 и расчеты определения продолжительности мойки для обеспечения 80%-й степени очистки по полученным уравнениям можно сделать вывод, что добавка МБК концентрацией 5 г/л в 3%-й раствор Лабомид-203 и активация раствора комбинированным способом сокращают продолжительность погружной мойки деталей на 3 минуты.

Аналогичные исследования проведены с использованием образцов из стали 20Х, результаты которых не отличались от результатов исследований с образцами из стали 40Х.

В главе 4.2 определена рациональная температура водного раствора Лабомид-203 для погружной мойки загрязненных образцов, равная 78°C, исходя из которой дальнейшие исследования степени очистки деталей

проводились при температуре моющего раствора 78-85°C. Представляет определенный интерес определение влияния монобората калия и активации раствора комбинированным способом на температуру моющего раствора.

«Для решения этой задачи проведена серия экспериментов по исследованию зависимости степени очистки образцов (y , %) от температуры моющего раствора (x , °C) в 3%-м растворе Лабомид-203 с добавкой МБК концентрацией 5 г/л при активации раствора комбинированным способом, получено уравнение регрессии данной зависимости, приравняв которую требуемой степени очистки, определили искомое значение температуры моющего раствора» [99].

Температура раствора в экспериментах определялась программой исследований и составила 20, 40, 60, 80, 95°C, а в качестве моющей композиции взят 3%-й водный раствор Лабомида-203 с добавкой МБК концентрацией 5 г/л. Раствор активировали комбинированным способом, продолжительность мойки по всем вариантам была одинаковой и в соответствии с данными подраздела 4.6 составляла 6 минут. Методика экспериментов была аналогичной методике, описанной в подразделе 4.1. Результаты экспериментов представлены в таблице 4.14, сводной таблице 4.15 и на рисунке 4.7.

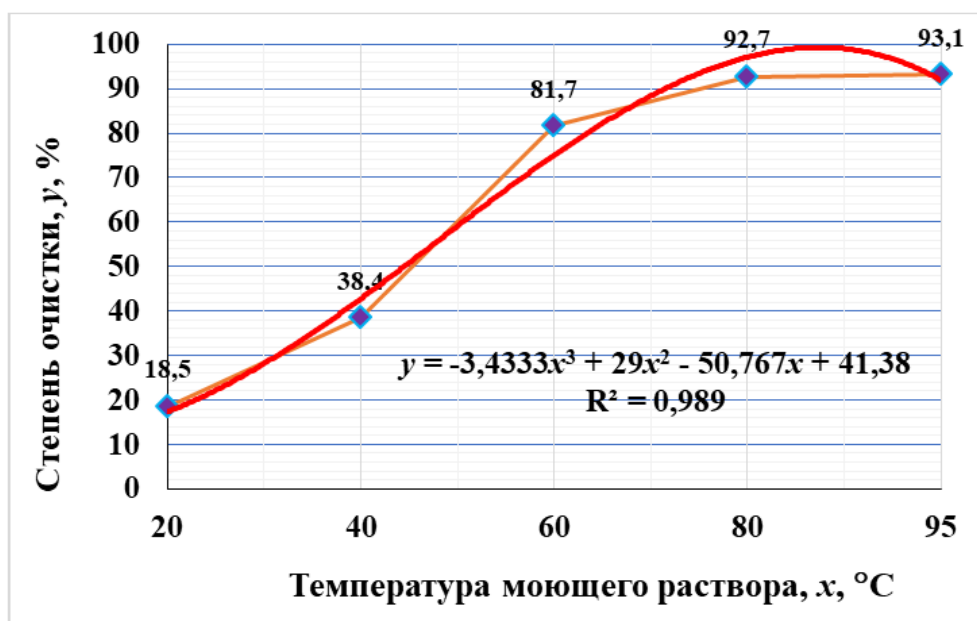


Рисунок 4.7 – График зависимости степени очистки образцов (y , %) от температуры 3%-го раствора Лабомида-203 (x , °C)

Таблица 4.14 – Зависимость степени очистки образцов из стали 40Х от температуры 3%-го раствора Лабомид-203 с добавкой МБК концентрацией 5 г/л при комбинированной активации раствора и продолжительности мойки 6 минут (форма таблицы из [100])

Темпера- тура моющего раствора, °С	№№ образцов	Масса, г					Степень очистки, %	
		образца			образца после эксперимента, M ₂	загрязнения после мойки $\Delta M_2 = M_1 - M_2$	каждого образца	средняя по вариантам
		чистого M ₀	до эксперимента					
			с загрязнением M ₁	$\Delta M_1 = M_1 - M_0$				
20	1	47,1458	50,4561	3,3103	49,8371	2,6913	18,7	18,5
	2	47,2365	51,0254	3,7889	50,3472	3,1107	17,9	
	3	46,8595	51,3205	4,4610	50,5309	3,6714	17,7	
	4	47,2354	51,6231	4,3877	50,7982	3,5628	18,8	
	5	46,9585	51,4923	4,5338	50,6127	3,6542	19,4	
40	6	46,7898	50,8522	4,0624	49,2801	2,4903	38,7	38,4
	7	47,3264	51,6205	4,2941	49,9973	2,6709	37,8	
	8	47,1520	50,8564	3,7044	49,4117	2,2597	39,0	
	9	47,2134	50,7536	3,5402	49,4402	2,2268	37,1	
	10	46,9055	50,6451	3,7396	49,1717	2,2662	39,4	
60	11	47,3350	51,6230	4,2880	48,1068	0,7718	82,0	81,7
	12	46,8985	51,0055	4,1070	47,6665	0,7680	81,3	
	13	47,2865	50,4352	3,1487	47,8407	0,5542	82,4	
	14	46,7925	49,9588	3,1663	47,3878	0,5953	81,2	
	15	47,1554	50,7523	3,5969	47,8172	0,6618	81,6	
80	16	46,8552	50,0221	3,1669	47,0705	0,2153	93,2	92,7
	17	46,9116	49,9514	3,0398	47,1396	0,2280	92,5	
	18	47,1445	50,6895	3,5450	47,3997	0,2552	92,8	
	19	47,2635	50,4887	3,2252	47,4893	0,2258	93,0	
	20	47,1983	50,6465	3,4482	47,4742	0,2759	92,0	
95	21	46,9955	50,4547	3,4592	47,2203	0,2248	93,5	93,1
	22	46,8992	51,2347	4,3355	47,1940	0,2948	93,2	
	23	46,9895	50,5544	3,5649	47,2569	0,2674	92,5	
	24	46,7875	50,7584	3,9709	47,0734	0,2859	92,8	
	25	47,2335	51,3692	4,1357	47,5023	0,2688	93,5	

Таблица 4.15 – Сводная таблица результатов исследования влияния температуры 3%-го раствора Лабомид-203 с добавкой МБК концентрацией 5 г/л, при комбинированной активации раствора и продолжительности мойки 6 минут на степень очистки

Температура моющего раствора, x , °С	20	40	60	80	95
Степень очистки, y , %	18,5	38,4	81,7	92,7	93,1

«По точкам расположения результатов экспериментов на графике (рисунок 4.7) видно, что зависимость аппроксимируется уравнением полиномиальной зависимости третьей степени» [100]:

$$y = -3,4333x^3 + 29x^2 - 50,767x + 41,38.$$

«Степень очистки определяется из условия 80%-й очистки деталей. Решая полученное уравнение, определяем температуру моющего раствора» [100]:

$$-3,4333x^3 + 29x^2 - 50,767x + 41,38 = 80.$$

$$x = 64^\circ\text{C}.$$

Аналогично проведён анализ зависимости степени очистки от температуры раствора. Эксперименты показали, что добавка МБК в концентрации 5 г/л позволяет поддерживать 80%-ю степень очистки при температуре раствора 64 °С, что снижает рабочую температуру на 16-20 °С по сравнению с базовыми условиями.

Такие же результаты получены при использовании образцов из стали 20Х, которые не отличались от результатов исследований с образцами из стали 40Х.

4.7 Определение влияния параметров погружной мойки на степень очистки деталей методом проведения многофакторного эксперимента

«Математическая теория планирования экспериментов базируется на современной математической статистике. При этом в отличие от традиционного «классического» метода, когда попеременно меняют каждый из факторов, оставляя остальные постоянными, при новом методе планирования изменяют все факторы сразу. Это ведет к сокращению числа опытов и к более полному

выявлению влияния отдельных факторов друг на друга» [100].

Параметрами технологического процесса погружной мойки являются состав моющего раствора по концентрации включенных компонентов, «продолжительность мойки, температура раствора. Для разработки оптимального технологического процесса погружной мойки необходимо провести многофакторный эксперимент, при котором одновременно варьируют все действующие факторы. В соответствии с количеством параметров» [72] процесса погружной мойки использовали математический метод планирования экспериментов плана $N = 2^4$, который требует всего 16 вариантов в одной серии опытов.

В нашем случае одновременно меняли концентрацию СМС (Лабомид-203) (x_1), концентрацию специальной добавки (МБК) (x_2), температуру раствора (x_3) и продолжительность (x_4).

Имитационная модель полного факторного эксперимента плана $N = 2^4$ выражается уравнением:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1 x_2 + b_{13}x_1 x_3 + b_{14}x_1 x_4 + b_{23}x_2 x_3 + b_{24}x_2 x_4 + b_{34}x_3 x_4 + b_{123}x_1 x_2 x_3 + b_{124}x_1 x_2 x_4 + b_{134}x_1 x_3 x_4 + b_{234}x_2 x_3 x_4 + b_{1234}x_1 x_2 x_3 x_4$$

где y – выходной параметр изучаемого процесса мойки (степень очистки); $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{23}, b_{24}, b_{34}, b_{123}, b_{124}, b_{134}, b_{234}, b_{1234}$ – коэффициенты; x_1, x_2, x_3, x_4 – параметры мойки (факторы).

Полученные значения параметров погружной мойки «приняты за основной уровень варьирования факторов, а варьирование переменных производили на двух уровнях, условно обозначаемых «+1» и «-1» или символами «+» и «-».

Составляли матрицу планирования и план четырехфакторного эксперимента» [97] (таблицы 4.16 и 4.17).

Таблица 4.16 – Матрица планирования эксперимента плана $N = 2^4$

Наименование	Значения переменных			
	Концентрация Лабомид-203, x_1	Концентрация МБК, x_2	Температура раствора, x_3	Время мойки, x_4
Основной уровень O_{x_i}	3	0,5	85	7
Интервал варьирования λ_i	1,0	0,1	10	2
Верхний уровень «+»	4,0	0,6	95	9,0
Нижний уровень «-»	2,0	0,4	75	5,0

Эксперименты проводились с образцами размерами $30 \times 100 \times 2,0$ мм. Активация раствора осуществлялась комбинированным способом. Подготовка образцов, включая нанесение модельных загрязнений, замеры размеров и взвешивание, проводилась в соответствии с утверждённой методикой.

Полученные данные (таблица 4.18) использовались для расчёта дисперсий и последующего регрессионного анализа.

$$S_j^2 = \frac{\sum_{j=1}^m (y_j - \bar{y}_j)^2}{m-1},$$

$$\sum_{j=1}^m S_j^2 = 72,469\%,$$

используя критерий Кохрэна, рассчитана воспроизводимость экспериментов:

$$G_p = \frac{S_{j \max}^2}{\sum_{j=1}^m S_j^2} = \frac{14,293}{72,469} = 0,197.$$

Для количества экспериментов $N = 16$ при уровне надёжности $\gamma = 0,95$:

$$G_{\text{табл.}} \approx 0,252.$$

Тогда

$$G_p = 0,197 < G_{\text{табл.}} \approx 0,252$$

Таблица 4.17 – План эксперимента $N = 2^4$, результаты и расчет

Варианты	x_0	План				Расчет											Выход			Расчет	
		x_1	x_2	x_3	x_4	x_1x_2	x_1x_3	x_1x_4	x_2x_3	x_2x_4	x_3x_4	$x_1x_2x_3$	$x_1x_2x_4$	$x_1x_3x_4$	$x_2x_3x_4$	$x_1x_2x_3x_4$	y_1	y_2	y_3	\bar{y}_j	s_j^2
1	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-					
2	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-					
3	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	-	+	-	+	-					
4	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+					
5	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	-					
6	+	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+					
7	+	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	+					
8	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-					
9	+	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-					
10	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+					
11	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+					
12	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-					
13	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	+					
14	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-					
15	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	-					
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					

где \bar{y}_j – средние построчные выходы;

Таблица 4.18 – Результаты экспериментов (форма таблицы из [99])

№№ вариантов	№№ образцов	Масса, г					Степень очистки, y_i , %		Дисперсия построчная S_j^2
		образца		загрязнения	образца после эксперимента, M_2	загрязнения после эксперимента $\Delta M_2=M_1-M_2$	каждого образца	средняя по вариан там	
		чистого M_0	до эксперимента						
			с загрязнением M_1	$\Delta M_1=M_1-M_0$					
1	1	47,1458	50,6258	3,4800	47,7924	0,6466	81,42	81,25	1,489
	2	47,2365	50,7235	3,4870	47,8875	0,6510	81,33		
	3	46,8595	50,3230	3,4635	47,5176	0,6581	81,00		
2	4	47,2354	50,7255	3,4901	47,5059	0,2705	92,25	92,32	2,107
	5	46,9585	50,4231	3,4646	47,2391	0,2806	91,90		
	6	46,7898	49,9589	3,1691	47,0177	0,2279	92,81		
3	7	47,3264	50,4655	3,1391	47,8217	0,4953	84,22	84,56	1,891
	8	47,1520	51,0223	3,8703	47,7306	0,5786	85,05		
	9	47,2134	51,1552	3,9418	47,8279	0,6145	84,41		
4	10	46,9055	51,2666	4,3611	47,3948	0,4893	88,78	88,65	5,529
	11	47,3350	50,8598	3,5248	47,7114	0,3764	89,32		
	12	46,8985	50,9985	4,1000	47,3967	0,4982	87,85		
5	13	47,2865	51,2335	3,9470	47,7617	0,4752	87,96	87,55	10,767
	14	46,7925	51,3663	4,5738	47,3267	0,5342	88,32		
	15	47,1554	50,5645	3,4091	47,6201	0,4647	86,37		
6	16	46,8552	50,8865	4,0313	47,1382	0,2830	92,98	93,27	1,333
	17	46,9116	51,0255	4,1139	47,1934	0,2818	93,15		
	18	47,1445	51,2354	4,0909	47,4030	0,2585	93,68		
7	19	47,2635	50,9556	3,6921	47,4721	0,2086	94,35	94,00	1,939
	20	47,1983	50,4562	3,2579	47,4009	0,2026	93,78		
	21	46,9955	50,8325	3,8370	47,2307	0,2352	93,87		

8	22	46,8992	50,4231	3,5239	47,3943	0,4951	85,95	85,77	7,639
	23	46,9895	50,2545	3,2650	47,4851	0,4956	84,82		
	24	46,7875	50,9458	4,1583	47,3472	0,5597	86,54		
9	25	47,2335	51,0055	3,7720	47,6922	0,4587	87,84	87,92	1,409
	26	47,2245	50,6326	3,4081	47,6284	0,4039	88,15		
	27	46,8668	50,5478	3,6810	47,3170	0,4502	87,77		
10	28	46,9595	50,8642	3,9047	47,3168	0,3573	90,85	90,54	14,293
	29	47,1115	50,6885	3,5770	47,4971	0,3856	89,22		
	30	47,2555	50,3955	3,1400	47,5208	0,2653	91,55		
11	31	47,1523	50,4215	3,2692	47,6943	0,5420	83,42	83,26	4,036
	32	46,9561	50,1256	3,1695	47,5089	0,5528	82,56		
	33	46,8959	50,0125	3,1166	47,4008	0,5049	83,80		
12	34	47,2505	50,5627	3,3122	47,6109	0,3604	89,12	89,23	9,211
	35	46,8859	50,2120	3,3261	47,2105	0,3246	90,24		
	36	46,9510	50,2585	3,3075	47,3370	0,3860	88,33		
13	37	47,2323	50,6231	3,3908	47,4998	0,2675	92,11	91,55	2,713
	38	47,2755	50,4205	3,1450	47,5441	0,2686	91,46		
	39	47,2266	50,5205	3,2939	47,5204	0,2938	91,08		
14	40	46,8520	49,9520	3,1000	47,0510	0,1990	93,58	93,38	1,421
	41	47,3125	50,3256	3,0131	47,5183	0,2058	93,17		
	42	47,2415	50,5535	3,3120	47,4604	0,2189	93,39		
15	43	46,8997	50,2244	3,3247	47,3239	0,4242	87,24	86,56	4,144
	44	46,8569	50,3265	3,4696	47,3440	0,4871	85,96		
	45	47,0562	50,4876	3,4314	47,5201	0,4639	86,48		
16	46	46,9058	50,2887	3,3829	47,1047	0,1989	94,12	93,56	2,548
	47	47,3805	50,6334	3,2529	47,5945	0,2140	93,42		
	48	46,8055	50,1214	3,3159	47,0330	0,2275	93,14		

«Это подтверждает, что результаты экспозиций однородны, значит, можно приступить к определению неизвестных коэффициентов уравнения регрессии» [100].

Коэффициенты регрессии определяются по формуле:

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

где x_i – параметры процесса мойки;

N – число опытов.

$$y = 8,96 + 30,06 x_1 + 14,9 x_2 + 27,91 x_3 + 8,63 x_4 + 12,41 x_1 x_2 + 93,56 x_1 x_3 - 4,77 x_1 x_4 - 0,47 x_2 x_3 - 9,37 x_2 x_4 - 0,29 x_3 x_4 + 94,27 x_1 x_2 x_3 + 29,45 x_1 x_2 x_4 + 17,91 x_1 x_3 x_4 - 1,85 x_2 x_3 x_4 + 53,71 x_1 x_2 x_3 x_4.$$

Найденные таким образом коэффициенты уравнения регрессии необходимо оценить на статистическую значимость. Оценка производится по t -критерию Стьюдента вычислениями следующих показателей [95]:

а) дисперсии воспроизводимости:

$$S_j^2 = \frac{\sum_{j=1}^m S_j^2}{N} = \frac{72,469}{16} = 4,53;$$

б) дисперсии среднего значения:

$$[S_j^2] = \frac{S_j^2}{m} = \frac{4,53}{3} = 1,51;$$

в) дисперсии коэффициентов регрессии:

$$S^2 \{b_i\} = \frac{[S_j^2]}{N} = \frac{1,51}{16} = 0,1;$$

г) ошибки коэффициентов регрессии:

$$S \{b_i\} = 0,33;$$

д) определены расчетные значения коэффициента Стьюдента: $t_0 = 27,15$; $t_1 = 91,1$; $t_2 = 45,15$; $t_3 = 84,6$; $t_4 = 26,15$; $t_{12} = 37,6$; $t_{13} = 283,52$; $t_{14} = 14,45$; $t_{23} = 1,42$; $t_{24} = 28,39$; $t_{34} = 0,88$; $t_{123} = 285,67,1$; $t_{124} = 89,24$; $t_{134} = 54,27$; $t_{234} = 5,6$; $t_{1234} = 162,94$.

Из таблиц при уровне статистической значимости $p = 0,05$ и числе степеней свободы $\nu = 16$ ($3 - 1$) = 32, определим табличное значение

коэффициента Стьюдента. Оно равно $t_T = 2,04$. Сопоставим расчетные значения t_i с табличным $t_{\text{табл}}$. Неравенство $t_{\text{табл}} > t_i$ выполняется для t_{23} и t_{34} . Следовательно, можно предположить, что коэффициенты b_{23} и b_{34} статистически незначимы и их можно исключить из уравнения регрессии.

Тогда:

$$y = 8,96 + 30,06 x_1 + 14,9 x_2 + 27,91 x_3 + 8,63 x_4 + 12,41 x_1 x_2 + 93,56 x_1 x_3 - 4,77 x_1 x_4 - 9,37 x_2 x_4 + 94,27 x_1 x_2 x_3 + 29,45 x_1 x_2 x_4 + 17,91 x_1 x_3 x_4 - 1,85 x_2 x_3 x_4 + 53,71 x_1 x_2 x_3 x_4.$$

«Проверку адекватности окончательного уравнения к первоначально полученному выполнили с использованием F-критерия Фишера:

$$F_p = \frac{S_{\text{ад}}^2}{[S_j^2]}.$$

Расчетные значения F_p сравнивали с табличным $F_{\text{таб}}$:

$$F_p \{N; \nu_1 = B - 1; \nu_2 = N(m - 1)\},$$

где $[S_j^2]$ – дисперсия среднего значения по результатам экспериментов;

$S_{\text{ад}}^2 = \frac{m}{N-B} \cdot \sum (y_j - \hat{y}_j)^2$ – критерий адекватности окончательного уравнения регрессии к первоначально полученному;

ν_1 – число степеней свободы членов уравнения регрессии, $\nu_1 = B - 1 = 14 - 1 = 13$;

ν_2 – число степеней свободы совокупности, $\nu_2 = N(m - 1) = 16(3 - 1) = 32$.

\hat{y}_j – значение выходов по вариантам, полученных при решении окончательного уравнения регрессии (после исключения членов уравнения с коэффициентами, имеющими незначительную величину)» [100].

Сумма $(y_j - \hat{y}_j)^2$ рассчитана в таблице 4.19, откуда следует:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{3 \cdot 2,32}{16 - 14} = 3,48.$$

$[S_j^2] = 1,51$ (рассчитана ранее).

Расчетное значение критерия Фишера:

$$F_p = \frac{3,48}{1,51} = 2,3,$$

«При $\nu_1 = B - 1 = 14 - 1 = 13$; $\nu_2 = N(m - 1) = 16(3 - 1) = 32$; $p = 0,05$ табличное значение будет» [99]: $F_{\text{таб}} = 2,41$.

$$F_p < F_{\text{таб}}.$$

Таблица 4.19 – Расчет суммы $(y_j - \hat{y}_j)^2$

№№ п/п	y_j	\hat{y}_j	$ y_j - \hat{y}_j $	$(y_j - \hat{y}_j)^2$
1	84,56	84,12	0,44	0,1936
2	92,32	91,78	0,54	0,2916
3	84,56	84,01	0,55	0,3025
4	88,65	88,48	0,17	0,0289
5	87,55	87,28	0,27	0,0729
6	93,27	93,82	0,55	0,3025
7	94,00	94,48	0,48	0,2304
8	85,77	85,62	0,15	0,0225
9	87,92	87,78	0,14	0,0196
10	90,54	90,92	0,38	0,1444
11	83,26	82,81	0,45	0,2025
12	89,23	89,37	0,14	0,0196
13	91,55	91,98	0,43	0,1849
14	93,38	92,89	0,49	0,2401
15	86,56	86,35	0,21	0,0441
16	93,56	93,82	0,26	0,0676
				2,32

«Уравнение регрессии, после исключения незначимых членов, подтвердило адекватность модели.

Анализ уравнения регрессии проводили по значениям и знакам коэффициентов. Результаты исследования влияния отдельных параметров погружной мойки и их сочетаний на степень очистки деталей приведены» [100] в таблице 4.20.

На рисунке 4.8 приведена диаграмма влияния отдельных параметров погружной мойки и их сочетаний на повышение степени очистки деталей.

Таблица 4.20 – Влияние отдельных параметров погружной мойки и их сочетаний на степень очистки деталей

Факторы и их сочетаниях	Значение коэффициентов	Выводы
x_1	+30,06	Оказывает существенное влияние на повышение степени очистки
x_2	+14,9	Увеличивает степень очистки
x_3	+27,91	Оказывает существенное влияние на повышение степени очистки
x_4	+8,63	Увеличивает степень очистки
x_1x_2	+12,41	Увеличивает степень очистки
x_1x_3	+93,56	Оказывает существенное влияние на повышение степени очистки
x_1x_4	-4,77	Оказывает несущественное понижающее действие на степень очистки
x_2x_4	-9,37	Оказывает несущественное понижающее действие на степень очистки
$x_1x_2x_3$	+94,27	Оказывает существенное влияние на повышение степени очистки
$x_1x_2x_4$	+29,45	Оказывает существенное влияние на повышение степени очистки
$x_1x_3x_4$	+17,91	Оказывает повышающее действие на степень очистки
$x_2x_3x_4$	-1,85	Оказывает несущественное понижающее действие на степень очистки
$x_1x_2x_3x_4$	+ 53,71	Оказывает существенное влияние на повышение степени очистки

Анализ данных таблицы 4.20 и рисунка 4.8 показывает, что:

а) на степень очистки образцов из всех изученных параметров погружной мойки в большей степени влияют такие отдельные параметры как концентрация Лабомид-203 и температура, а из сочетаний – концентрация Лабомид-203 с температурой, концентрации Лабомид-203 и МБК с температурой, сочетание всех изученных четырех параметров (коэффициенты при $x_1 x_2 x_3$ и $x_1 x_2 x_3 x_4$ имеют наибольшие значения);

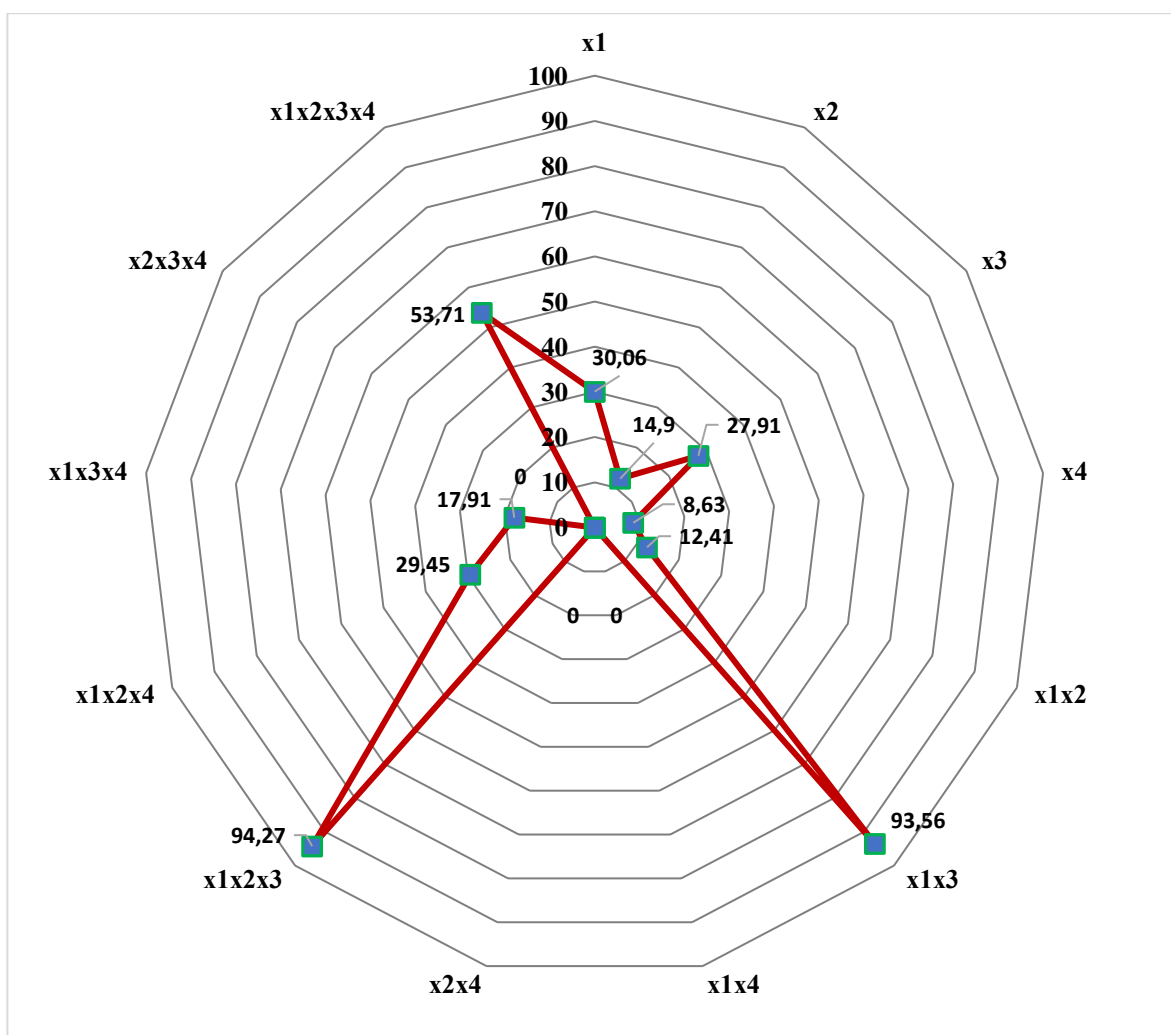


Рисунок 4.8 – Влияние отдельных параметров погружной мойки и их сочетаний на повышение степени очистки деталей

б) такие сочетания параметров как концентрация Лабомид-203 в растворе с продолжительностью мойки, концентрация МБК в растворе с продолжительностью мойки, концентрация МБК в растворе с температурой раствора и продолжительностью мойки оказывают несущественное понижающее действие на степень очистки, так как коэффициенты при этих сочетаниях параметров имеют знак «-».

в) на оптимизацию процесса погружной мойки деталей в первую очередь влияют концентрации СМС, добавки и температура раствора.

4.8 Выводы по главе 4

1. Доказано, что зависимость степени очистки деталей от продолжительности мойки аппроксимируется уравнением прямолинейной регрессии, откуда следует, что продолжительность мойки 9 мин. является рациональной.

2. Зависимость степени очистки от температуры моющего раствора аппроксимируется уравнением полиномиальной зависимости третьей степени. Рациональная температура моющего раствора для условий ремонтного производства принята в интервале 75-95°C.

3. Экспериментально подтвердили, что зависимость степень очистки от концентрации Лабомид-203 полиномиальная и описывается уравнением второй степени. Рациональная концентрация Лабомид-203 в моющем растворе может быть в пределах 3-4%. Для дальнейших исследований принята концентрация Лабомид-203, равная 3%.

4. Лабомид-203 в водном растворе обладает незначительным ингибирующим действием на детали из стали 40Х. Коррозионная стойкость деталей, вымытых в его 3%-м водном растворе, составляет около 9 суток. Добавка МБК концентрацией 5 г/л в 3%-й водный раствор Лабомид-203 повышает коррозионную стойкость вымытых деталей до 18,2 суток.

5. Наиболее эффективным из рассмотренных способов активации 3%-го водного раствора Лабомид-203 является комбинированный способ (комбинация активации колебанием корзины с деталями и центрифугой одновременно), которая обеспечивает степень очистки образцов 93,0%, а без активации раствора – 81,8%.

6. Зависимость степени очистки от концентрации МБК имеет полиномиальный характер и описывается уравнением третьей степени. Определена его рациональная концентрация в растворе, равная 5 г/л. Степень очистки образцов в 3%-м растворе Лабомид-203 при концентрации МБК 5 г/л достигает 93,8%, а без МБК степень очистки деталей в этом же растворе составляет 81,7%.

7. Добавка МБК концентрацией 5 г/л в 3%-й раствор Лабомид-203 и активация раствора комбинированным способом сокращают продолжительность погружной мойки деталей до 6 минут (на 3 минуты), температуру раствора – до 64°C (на 16-20°C), поддерживая такую же степень очистки при этом.

8. Проведенный многофакторный эксперимент позволил получить математическую модель влияния отдельных параметров и их сочетаний на степень очистки и выявить наиболее значимые параметры и их сочетания для оптимизации процесса погружной мойки деталей.

5 ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

5.1 Выбор объектов для подконтрольной мойки

Производственную проверку усовершенствованной технологии погружной мойки деталей агрегатов автотракторной техники использованием разработанных более эффективных моющего раствора и способа его активации проводили в ООО «СПК Новоселки» Рыбновского района Рязанской области (с. Новоселки), зарегистрированного 24.12.2021 регистратором Управление Министерства Российской Федерации по налогам и сборам по Рязанской области. Основным видом деятельности общества является выращивание зерновых, зернобобовых культур и семян масличных культур, зарегистрированы 23 дополнительных вида деятельности, в том числе аренда грузового автомобильного транспорта с водителем, аренда и лизинг легковых автомобилей и легких автотранспортных средств, аренда и лизинг грузовых транспортных средств. Уставный капитал ООО «СПК Новоселки» составляет 15,4 млн руб. Выручка компании за 2023 год составила 36,7 млн руб., чистая прибыль – 3,1 млн руб. В прошлом отчетном периоде компанией были уплачены налоги на сумму 2 млн руб.

Хозяйство расположено в пойме реки Оки, причем большую площадь занимают заливные луга. Это способствует развитию мощной кормовой базы для потребителей собственного хозяйства и для реализации в Рязанской и других областях. Большая часть продукции растениеводства направляется на кормовые цели. СПК «Новоселки» содержит высокопродуктивное стадо крупного рогатого скота черно-пестрой породы, которое периодически обновляется. Произведенное молоко направляется на молочный завод, расположенный в селе Новоселки.

СПК «Новоселки» полностью обеспечено необходимой техникой для агротехнических работ, причем вся техника отечественного производства. Автотракторный парк представлен автомобилями КамАЗ-45144 (2008 г. вып.), ЗиЛ-130 (2006 г. вып.), ВАЗ-2131 (2012 г. вып.) и тракторами МТЗ-1221 (2013 г. вып.); МТЗ-82 (2010 г. вып.); К-701 (2003 г. вып.) (рисунки 5.2-5.7).

Схема технологического процесса ремонта агрегатов в СПК «Новоселки» изображена на рисунке 5.1.

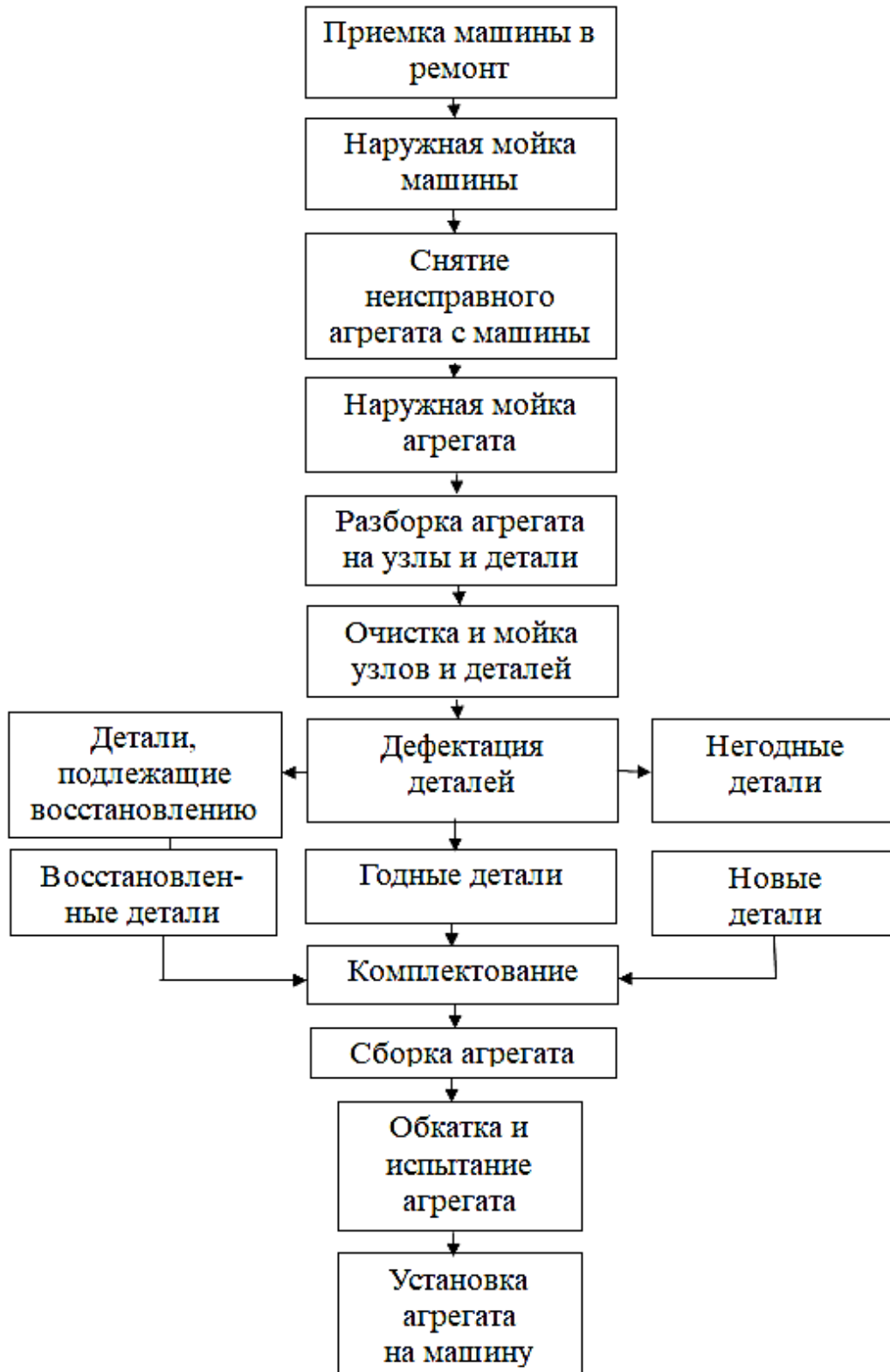


Рисунок 5.1 – Структурная схема технологического процесса ремонта агрегатов машин в СПК «Новоселки»

Тракторы МТЗ-1221 Беларусь (рисунок 5.2) и МТЗ-82 (рисунок 5.3) – универсальные сельскохозяйственные тракторы Минского тракторного завода предназначены для выполнения разнообразных работ, от обработки полей и посева до дорожно-строительных и коммунальных работ.



Рисунок 5.2 – Трактор МТЗ-1221 Беларусь



Рисунок 5.3 – Трактор МТЗ-82

Колёсный трактор «Кировец» К-701 (рисунок 5.4) – универсальный сельскохозяйственный трактор общего назначения повышенной проходимости.



Рисунок 5.4 – Трактор К-701

Трактор К-701 относится к тракторам 5 тягового класса. Тяговое усилие – 50 кН. Трактор укомплектован четырёхтактным 12-цилиндровым двигателем

ЯМЗ-240Б мощностью 330 л.с. Основание трактора – 2 полурамы, которые соединены шарнирным устройством. Мосты спереди и сзади жёстко сцеплены с основным узлом несущей системы.

КамаЗ-45144 (рисунок 5.5) – крупнотоннажный самосвал, который рассчитан на использование прежде всего в сельскохозяйственной отрасли.

ВАЗ-21310 – полноприводный легковой автомобиль повышенной проходимости. Построен на базе трехдверной. Машина отличается от «Нивы» 2121 увеличенной на 50 сантиметров базой и пятидверным кузовом. Автомобиль предназначен для эксплуатации не только по шоссе, но и по песчаным, глинистым, заболоченным, заснеженным участкам. Также машина способна преодолевать водные преграды высотой до полуметра.



Рисунок 5.5 – Автомобиль КамаЗ-45144 Рисунок 5.6 – Автомобиль Ваз-21310

ЗиЛ-130 (рисунок 5.7) – советский и российский среднетоннажный грузовой автомобиль третьего поколения разработки и производства автомобильного завода имени Лихачёва (г. Москва). ЗиЛ-130 относится к числу самых массовых грузовых автомобилей во всем мире, общее количество выпущенных машин этой модели только в Советском Союзе составило 3,4 млн. штук. Серийное производство прекращено в начале 1990 года, однако, ЗиЛ-130 и сегодня продолжает трудовую вахту – как в частных руках, так и в различных организациях.



Рисунок 5.7 – Автомобиль ЗиЛ-130

Изучение возрастной характеристики автотракторной техники в СПК «Новоселки» и по Рязанской области [66] подтверждает, что в хозяйствах области основная часть техники имеет срок эксплуатации 10 лет и более.

«Отказы автотракторной техники по данным мониторинга качества в условиях реальной эксплуатации, проведенного в 2013-2017 годах (проведено ФГБУ МИС в 2012-2017 годах в рамках государственного задания) приходятся на:

- ДВС – 35,1%;
- гидросистема – 18,4%;
- трансмиссия – 12,4% и т. д.

Из анализа данных видно, что основная доля от общего числа отказов автотракторной техники приходится на отказы, связанные с двигателями и агрегатами трансмиссии.

На основе вышеизложенного в качестве объектов для подконтрольной» [54] мойки принимаем детали двигателя, КПП, ведущего моста. Причем, как показывают данные таблицы 3.2, многие детали этих агрегатов изготовлены из стали 40Х. В качестве опытных образцов при проведении лабораторных исследований были использованы пластины из стали 40Х и 20Х. В связи с несущественным отклонением результатов исследований по этим образцам возможна одновременная мойка деталей всех основных агрегатов автотракторной техники СПК.

5.2 Экономический эффект от внедрения результатов исследования

Экономический эффект внедрения предложенной технологии оценивался в сравнении с базовым вариантом очистки в 3%-м растворе Лабомид-203.

Общий экономический эффект ($\mathcal{E}_{\text{общ.}}$) определяем по выражению:

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

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

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

C_{τ} – стоимость снижения энергозатрат на обеспечение требуемой продолжительности мойки, руб.;

$C_{\text{ПБА}}^1$ – стоимость МБК на мойку одной партии деталей, руб.» [71].

Снижение общей трудоёмкости ремонта агрегатов достигнуто за счёт уменьшения времени на мойку деталей, что подтверждено хронометражным наблюдением за ремонтными процессами двух двигателей: у первого вымыты в 3%-м растворе Лабомид-203 (вариант №1), а у второго – в 3%-м растворе Лабомид-203 с добавкой МБК концентрацией 5 г/л с активацией раствора комбинированным способом (вариант №2).

При варианте №1 трудоёмкость ремонта двигателя Д-243 (трактор МТЗ-82) составила 51,6 чел.-ч., а при варианте №2 – 50,2 чел.-ч., следовательно, трудоёмкость при варианте №2 снизилась на 1,4 чел.-ч., (2,7%), что уменьшает стоимость ремонта двигателя на 2,7%.

Экономический эффект по этому показателю:

$$\mathcal{E}_{\text{рем.}} = 45000 \times 2,7 : 100 = 1215,0 \text{ руб.}$$

В подразделах 4.6 и 4.7 было установлено, что при добавлении МБК (5 г/л) и комбинированной активации раствора продолжительность погружной мойки сократилась на 3 минуты, а температура рабочего раствора снизилась на 16-20 °С.

При активации раствора комбинированным способом работают два электродвигателя: КД 160-4/56Р мощностью 160 Вт – для привода колебания

корзины с деталями и ДАО мощностью 300 Вт – для привода центрифуги. Суммарная мощность двух электродвигателей составит 460 Вт. При мойке деталей по варианту №1 (продолжительность мойки 9 мин. или 0,15 ч) расход электроэнергии составит:

$$0,46 \text{ кВт} \times 0,15 \text{ ч} = 0,07 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

или при тарифе на электроэнергию 6,0 руб. / кВт·ч на сумму:

$$6,0 \text{ руб.} / \text{кВт}\cdot\text{ч} \times 0,07 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 0,42 \text{ руб.}$$

Сокращение продолжительности мойки деталей до 6 минут по варианту №2 снижает расходы электроэнергии до:

$$0,46 \text{ кВт} \times 0,1 \text{ ч} = 0,046 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

или на сумму:

$$6,0 \text{ руб.} / \text{кВт}\cdot\text{ч} \times 0,046 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 0,28 \text{ руб.}$$

Тогда стоимость снижения энергозатрат на обеспечение требуемой продолжительности мойки

$$C_{\tau} = 0,42 - 0,28 = 0,14 \text{ руб.}$$

Разница температур растворов при мойке по вариантам №1 и №2 для обеспечения 80%-й степени очистки составляет около 14°C (по варианту №1 – 78°C, по варианту №2 – 64°C).

«Расчет расходов на нагрев раствора с 60 до 76°C (Онлайн расчет)*» [63]

Начальная температура моющего раствора, °C	64;
Температура нагретого моющего раствора, °C	78;
Объем моющего раствора, м ³	30 л;
Мощность нагревателя, кВт	2 кВт;
КПД нагревателя, %	90;
Время нагрева	0,27138 ч;
Расход электроэнергии на нагрев	0,54276 кВт·ч;
Тариф на электроэнергию, руб за кВт·ч	6,0;
Стоимость разогрева воды, руб.	3,26.

«Тогда стоимость снижения энергозатрат на обеспечение требуемой температуры раствора» [99]:

$$C_t = 3,26 \text{ руб.}$$

Стоимость МБК на приготовление раствора для одной ванны объемом 30 литров при концентрации МБК 5 г/л в 3%-м растворе Лабомид-203 при стоимости МБК 250 руб. за 1кг:

$$C_{\text{МБК}} = 30 \times \frac{5}{1000} \times 250,00 = 37,5 \text{ руб.}$$

«В процессе мойки загрязненных деталей в растворе скапливаются загрязнения, поэтому моющий раствор в установке необходимо менять через каждые 2-3 мойки, что зависит от степени загрязнения раствора.

Следовательно, стоимость МБК на мойку одной партии деталей составит» [12]:

$$C_{\text{МБК}}^1 = \frac{37,5}{3} = 12,5 \text{ руб.}$$

Общий экономический эффект от внедрения результатов исследования составит:

$$\mathcal{E}_{\text{общ.}} = \mathcal{E}_{\text{рем}} + C_t + C_{\tau} - C_{\text{ПБА}}^1 = 1215,0 + 0,14 + 3,26 - 12,5 = 1206 \text{ рублей.}$$

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

Эксперименты показали, что экономия времени и ресурсов позволяет оптимизировать процесс очистки без изменения затрат на зарплату персонала, амортизацию оборудования и накладные расходы, в связи с чем в расчетах они не учтены

5.3 Выводы по главе 5

1. По результатам анализа автотракторного парка СПК «Новоселки» и в связи с несущественным отклонением результатов исследований по экспериментальным образцам из стали 40Х и стали 20Х в качестве объектов для подконтрольной мойки приняты детали двигателя, КПП, ведущего моста автотракторной техники СПК.

2. Экономический эффект от внедрения результатов исследования составил 1206 рублей на мойку одной партии деталей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

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

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

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

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

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

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болдин, А.П. Основы научных исследований: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / А.П. Болдин, В.А. Максимов. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 336 с.
2. Быков, В.В. Повышение эффективности мойки деталей при ремонте автомобилей / В.В. Быков, Б.П. Загородских, Ш.В. Садетдинов, В.М. Юдин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2019. – № 1(53). – С. 358-363.
3. Быков, В.В. Влияние температуры растворов синтетических моющих средств на их моющую способность / В.В. Быков, Б.П. Загородских, А. Н. Ременцов, В.М. Юдин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2019. – № 1(53). – С. 249-255.
4. Бышов, Н.В. Изменение контактных углов смачивания при добавлении в моющие растворы поверхностно-активных веществ / Н.В. Бышов, И.А. Успенский, В.В. Алексеев, И.В. Фадеев, // Инженерные технологии и системы. – 2019. – № 1. – С. 249-255.
5. Бышов, Н.В. Ингибитор коррозии металлов для использования при ремонте автотракторной техники / Н.В. Бышов, С.Д. Полищук, И.В. Фадеев, Ш.В. Садетдинов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2019. – № 2. – С. 257-262.
6. Бышов, Н.В. Повышение противокоррозионных свойств растворов синтетических моющих средств для мойки деталей / Н.В. Бышов, И.В. Фадеев, Г.А. Александрова, Ш.В. Садетдинов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2019. – № 45. – С. 20-24.
7. Бышов, Н.В. Ингибитор коррозии для растворов синтетических технологических средств / Н.В. Бышов, И.В. Фадеев // Перспективы развития механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства: материалы Всероссийской науч.-практич. конференции. – Чебоксары: ЧГСХА, 2019. – С. 411-417.

8. Бышов, Н.В. К вопросу улучшения свойств синтетических моющих средств для мойки деталей мобильной техники / Н.В. Бышов, И.В. Фадеев // 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.

9. Ванн, М. Повышение эффективности и качества очистки поверхности деталей от эксплуатационных загрязнений за счет применения вибрационной обработки в технологии авторемонтных производств: автореф. дисс. ...канд. техн. наук 05.02.08 / Мао Ванн. – Ростов на Дону, 2003. – 22 с.

10. Виды загрязнений деталей машин // Stroy-technics.ru : сайт. –URL: <https://stroy-technics.ru/article/vidy-zagryaznenii-detalei-mashin>

11. Волков, В.А. Коллоидная химия. Поверхностные явления и дисперсные системы. 2-е изд., испр. / В.А. Волков. – Изд-во «Лань», 2015. – 672 с.

12. Воронов, В.П. Совершенствование мойки деталей автотракторной техники: дисс. ...канд. техн. наук: 05.20.03 / Воронов Владимир Петрович. – Рязань, 2022. – 125 с.

13. Галынский В.А. Льдоструйная очистка поверхности деталей машин и оборудования при техническом обслуживании и ремонте: дисс. ...канд. техн. наук: 05.20.03 / Галынский Владимир Алексеевич. – Москва, 2007. – 130 с.

14. Горбов, А.Ф. Геохимия бора / А.Ф. Горбов. – Л.: Недра, 1976. – 207 с.

15. ГОСТ Р 9. 905– 2007. Единая система защиты от коррозии и старения. Методы коррозионных испытаний. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2007. – 17 с.

16. ГОСТ 18206-78 Машины для очистки тракторов, автомобилей и их составных частей. Технические условия. (Указатель 1980 «Государственные стандарты СССР. Том 3»).

17. Джон Б. Дурки: Управление технологиями и процессами промышленной очистки, 2006, Эльзевир, Оксфорд, Великобритания, 0-08-044888-7 ISBN.

18. Дорохов, А.В. Влияние времени и плотности тока при электроосаждении на краевой угол самачивания / Н.А. Курьято, Л.Г. Князева, А.В. Дорохов, В.А. Брыксина // Электрохимия и коррозия металлов и сплавов: материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 110-летию со дня рождения А. Я. Шаталова, 95-летию со дня рождения И. К. Маршакова. – Воронеж, 2023. – С. 94-96.

19. Дорохов, А.В. Защита стальной поверхности комбинированными ингибиторами коррозии / Л.Г. Князева, Н.А. Курьято, А.В. Дорохов // Успехи в химии и химической технологии. – 2023. – Т. 37.№ 2 (264). С. 57-61.

20. Дорохов, А.В. К оценке ингибиторной защиты сельскохозяйственной техники и оборудования / Л.Г. Князева, А.В. Дорохов, Н.А. Курьято // Наука в центральной России. – 2023. – № 1 (61). – С. 133-146.

21. Дорохов, А.В. Экологически безопасные продукты для защиты от коррозии / Л.Г. Князева, Н.А. Курьято, А.В. Дорохов, В.А. Брыксина // Наука в центральной России. – 2023. – № 3 (63). – С. 131-142.

22. Дорохов, А.В. Эффективность композиций для защиты углеродистой стали от коррозии / Н.А. Курьято, А.В. Дорохов, В.А. Брыксина // Инновационные тенденции развития российской науки: материалы 16-й Международной научно-практической конференции молодых ученых. – Красноярск, 2023. – С. 298-300.

23. Дунаев, А.В. Методы безразборного повышения ресурса узлов трения сельскохозяйственной техники при ее техническом обслуживании / А.В. Дунаев, М.Н. Костомахин // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2023. – № 8. – С. 3-9.

24. Дэвид С. Питерсон: Практическое руководство по промышленной очистке металла. 1997, Издательство Хансера Гарднера, Цинциннати, Огайо, США. ISBN 1-56990-216-X

25. Жильцов, К.А. Технология и устройство для очистки деталей двигателей внутреннего сгорания ледно-кавитационными струями: дис. ...канд. техн. наук: 05.20.03 // Жильцов Кирилл Алексеевич. – Иваново, 2011. – 135 с.

26. Зимон, А.Д. Адгезия жидкости и смачивание / А.Д. Зимон. – М.: Химия, 1974. – 414 с.

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

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

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

30. Карагодин, В.И. Ремонт автомобилей и двигателей: учеб. пособие для студентов учреждений сред. проф. образования / В.И. Карагодин, Н.Н. Митрохин. – 8-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 496 с.

31. Карагодин, В.И. Технологические процессы технического обслуживания и ремонта транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования (строительные и дорожные машины): учебник / В.И. Карагодин. — М.: КНОРУС, 2024. – 330 с.

32. Карелина, М.Ю. Перспективы применения моющих средств, обработанных ультразвуком, в машиностроении / М.Ю. Карелина, Б.А. Кудряшов, А.А. Нечай, Н.В. Левушкина, А.В. Сухов // В сборнике: Инновационные технологии в транспортном и химическом машиностроении. Материалы XII Международной научно-технической конференции Ассоциации технологов-машиностроителей. – 2020. – С. 121-123.

33. Карелина, М.Ю. Увеличение эксплуатационного ресурса сельхозтехники путем поверхностно-энергетической модификации поверхностей трибосопряжений фторуглеродными поверхностно-активными

веществами / Н.Ю. Бугакова, С.М. Гайдар, М.Ю. Карелина, В.М. Приходько // Технология металлов. – 2019. – № 4. – С. 24-31.

34. Катаев, Ю.В. Влияние управляющих параметров на основные показатели надежности деталей машин / Ю.В. Катаев, А.А. Соломашкин, В.С. Герасимов, Е.Ф. Малыха // Вестник машиностроения. – 2023. – № 7. – С. 560-565.

35. Козлов, Ю.С. Очистка автомобилей при ремонте / Ю.С. Козлов. – М.: Транспорт, 1975. – 216 с.

36. Козлов, Ю.С. Очистка изделий в машиностроении. / Ю.С. Козлов, О.К. Кузнецов, Н.Ф. Тельнов. – М.: Машиностроение, 1982. – 264 с.

37. Козлова, К.И. Исследование влияния некоторых факторов на качество съедобных сухарей: (05.18.15): дис. ...канд. техн. наук: 05.18.15 // Козлова Капитолина Ивановна. – Ленинград, 1979. – 235 с.

38. Кравченко, И.Н. Влияние подготовки поверхности детали на прочность сцепления покрытия при плазменном напылении / И.Н. Кравченко, С.В. Карцев, Ю.А. Кузнецов и др. // Новые огнеупоры. – 2021. – № 3. – С. 40-47.

39. Кравченко, И.Н. Исследование коррозионной стойкости защитных покрытий, формируемых комбинированным методом / Ю.А. Кузнецов, И.Н. Кравченко, К.В. Кулаков и др. // Новые материалы и технологии в машиностроении. – 2023. – № 37. – С. 42-45.

40. Кравченко, И.Н. Исследование пористости защитных покрытий формируемых комбинированным методом / Ю.А. Кузнецов, И.Н. Кравченко, Д.Г. Прохоров и др. // Новые материалы и технологии в машиностроении. – 2023. – № 37. – С. 46-50.

41. Кравченко, И.Н. Особенности подготовки поверхности деталей для нанесения износостойких плазменных покрытий / И.Н. Кравченко, Т.А. Чеха, А.О. Федоров, А.Ф. Сливов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2020. – № 2. – С. 27-32.

42. Кравченко, И.Н. Оценка работоспособности и долговечности восстановленных деталей и соединений / И.Н. Кравченко, С.А. Величко, А.В. Мартынов и др. // Технология металлов. – 2023. – № 7. – С. 42-48.

43. Кравченко, И.Н. Способ подготовки поверхности для нанесения износостойких покрытий 24, Текст]: пат. 2737909 Рос. Федерация: МПК С1/ Карцев С.В., Ерофеев М.Н., Карцева И.В., Кравченко И.Н.; Заявка № 2020121911 от 02.07.2020; опубл. 04.12.2020.

44. Кудряшов, М.Б. Автоматизация технологического процесса ультразвуковой очистки деталей на промышленном предприятии: дисс. ...канд. техн. наук: 05.13.06 / Кудряшов Михаил Борисович. – М., 2005. – 185 с.

45. Кузнецов, Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и дополн. / Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В.М. Власов и др. - М.: Наука, 2001. – 535 с.

46. Кулик, С.Н. К вопросу защиты черных металлов от коррозии / С.Н. Кулик, Е.В. Митрохина, И.В. Фадеев // Подготовка кадров на технологическом факультете: традиции и направления развития: сб. материалов Всероссийской науч.-практич. конф. с международным участием. – Чебоксары: ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. – 2020. С. 93-98.

47. Кулик, С.Н. Совершенствование противокоррозионной защиты машин и оборудования животноводческих комплексов: дисс. ...канд. техн. наук: 4.3.1 / Кулик Сергей Николаевич. – Рязань, 2023. – 148 с.

48. Кулик, С.Н. Совершенствование противокоррозионной защиты машин и оборудования животноводческих комплексов: автореф. дисс. ...канд. техн. наук: 4.3.1 / Кулик Сергей Николаевич. – Рязань, 2023. – 20 с.

49. Кэрл А. Леблан: Поиск более безопасных и экологичных химических растворителей для очистки поверхностей: предлагаемый инструмент для поддержки принятия решений по охране окружающей среды. 2001, Центр экологических исследований Университета Эразмус, Роттердам, Нидерланды.

50. Лидин, Р.А. Справочник по общей и неорганической химии / Р.А. Лидин. – М. : Просвещение, Учеб. лит., 1997. – 253 с.

51. Лялякин В.П. Повышение послеремонтной безотказности агрегатов тракторов / В.П. Лялякин, Д.А. Гительман, Р.Ю. Соловьев, А.К. Ольховацкий // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2023. – № 6. – С. 36-42.

52. Малюгин, С.Г. Совершенствование технологии наружной очистки сельскохозяйственной техники с обоснованием параметров и режимов работы установки водовоздушной мойки: автореф. дисс. ...канд. техн. наук: 05.20.01 / Малюгин Сергей Герасимович. – Рязань, 1998. – 24 с.

53. Механические способы очистки деталей // Stroy-technics.ru : сайт. – URL: <https://stroy-technics.ru/article/mekhanicheskie-sposoby-ochistki-detalei>.

54. Митрохина, Е.В. Совершенствование технологического процесса мойки деталей при ремонте техники в сельском хозяйстве: дисс. ...канд. техн. наук: 05.20.03 / Митрохина Екатерина Владимировна. – Рязань, 2021. – 148 с.

55. Моющие растворы и препараты // Stroy-technics.ru : сайт. – URL: <https://stroy-technics.ru/article/moyushchie-rastvory-i-preparaty>.

56. Ощуков, Е.С. Очистка агрегатов, сборочных единиц и деталей при ремонте тракторов и автомобилей / Е.С. Ощуков // Молодежь и наука. – 2018. – №6. – С. 72-77.

57. Папок, К.К. Нагары в реактивных двигателях / К.К. Папок, В.П. Пискунов, П.Г. Юренин. – М.: Транспорт, 1971. – 112 с.

58. Плышевский, Ю.С. Состояние и перспективы производства борных соединений / Ю.С. Плышевский, К.В. Ткачев // Тезисы докладов Всесоюзного совещания по химии и технологии неорганических соединений бора. – Рига, 1987. – С. 162-163.

59. Приходько, В.М. Оптимизация параметров процесса ультразвуковой очистки при ремонте газовой топливной аппаратуры / В.М. Приходько, В.В. Борщ // Вестник МАДИ. – 2004. – №3. – С. 53-57.

60. Прохоренков, В.Д. Разработка методов противокоррозионной защиты и технологических процессов хранения сельскохозяйственной техники: дисс. ...доктора техн. наук: 05.17.03 / Прохоренков Вячеслав Дмитриевич. – Тамбов, 2002. – 400 с.

61. Пучин, Е.А. Практикум по ремонту машин: учебник для студентов высших учебных заведений / Е.А. Пучин, В.Г. Новиков, М.А. Очковский. – М.: Колос, 2009. – 327 с.

62. Распылитель жидкости [Текст]: пат. 2737909 Рос. Федерация: МПК С1/ Марченко Л.А., Спиридонов А.Ю.; Заявка № 2021122010 от 26.07.2021; опубл. 17.01.2022.

63. Расчет расходов на нагрев воды // Nagrev24.ru : сайт – URL: <https://nagrev24.ru/voda/?t1=60&t2=76&vol=1000&eff=90&power=36&price=3.96>.

64. Ребиндер, П. А. Поверхностно-активные вещества и их применение / П.А. Ребиндер // Химическая наука и промышленность. – 1969. – №5. – С. 554-56.

65. Розенфельд, И.Л. Влияние воздушно-образованной окисной пленки на защитные свойства неорганических ингибиторов в нейтральных средах / И.Л. Розенфельд, Л.В. Фролова, Н.Н. Тавадзе // Защита металлов. – 1980. – Т. 16, Г 3. – С. 339-342.

66. Рязанские аграрии обновляют парк сельхозтехники с помощью государственной поддержки // Fermer.ru : сайт. – URL: <https://fermer.ru/news/ryazanskie-agrarii-obnovlyayut-park-selhoztehniki-s-pomoshchyu-gosudarstvennoy-podderzhki-374208>

67. Северный, А.Э. Практикум по хранению и защите от коррозии сельскохозяйственной техники: учебно-методические рекомендации / А.Э. Северный, Е.А. Пучин, В.Е. Рязанов. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 160 с.

68. Северный, А.Э. Сохраняемость и защита от коррозии сельскохозяйственной техники: монография / А.Э. Северный. – М.: ГОСНИТИ, 1993. – 233 с.

69. Севостьянов, А.Л. Основы технологии производства и ремонт автомобилей: курс лекций (учеб. пособие) для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 190601 – «Автомобили и автомобильное хозяйство» / А.Л. Севостьянов. – Орел: Орловский гос. технический ун-т, 2006. – 181 с.

70. Средство для мойки деталей транспортных средств [Текст]: пат. 2777442 Рос. Федерация: МПК С11D1/72, С11D1/02, С11D3/06, С11D3/08,

C11D3/10/ 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.

71. Степанова, Е.И. Совершенствование мойки деталей при ремонте машин в агропромышленном комплексе: дисс. ...канд. техн. наук: 4.3.1 / Степанова Екатерина Ивановна. – Рязань, 2024. – 155 с.

72. Степанова, Е.И. Совершенствование мойки деталей при ремонте машин в агропромышленном комплексе: автореф. дисс. ...канд. техн. наук: 4.3.1 / Степанова Екатерина Ивановна. – Рязань, 2024. – 18 с.

73. Степанова, Е.И. Повышение эффективности технологии нанесения противокоррозионного состава при постановке сельскохозяйственных машин на хранение / И.В. Фадеев, И.А. Успенский, А.И. Ушанев, Е.И. Степанова, В.П. Воронов // Техника и оборудование для села. – 2022. – №1. – С. 39-40.

74. 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.

75. Степанова, Е.И. Исследование влияния компонентов загрязнения атмосферы животноводческих помещений на влагопоглощение противокоррозионной пленки / И.В. Фадеев, И.А. Успенский, И.А. Юхин, Е.И. Степанова, С.Н. Кулик, И.А. Мурог // Техника и оборудование для села. – 2022. – №10. – С. 26-30.

76. 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.

77. Степанова, Е.И. Повышение защитных свойств лакокрасочных материалов оптимизацией системы покрытий / И.В. Фадеев, И.А. Успенский, Е.И. Степанова, Н.И. Хайлов // Техника и оборудование для села. – 2022. – №9. – С. 34-39.

78. 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.

79. 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.

80. 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.

81. Степанова, Е.И. Совершенствование технологического процесса мойки деталей при ремонте техники: монография / И.В. Фадеев, Е.А. Митрохина, Е.И. Степанова; под общ. ред. И.В. Фадеева. – Чебоксары: Чуваш. гос. пед. ун-т, 2023. – 160 с.

82. Тараканова, Н.М. Технология и устройство для очистки сельскохозяйственных машин с использованием абразивно-кавитационной струи: автореф. дисс. ...канд. техн. наук: 05.20.03 / Тараканова Надежда Михайловна. – Рязань, 2011.–22 с.

83. Тельнов, Н.Ф. Моющие средства, их использование в машиностроении и регенерация / Н.Ф. Тельнов, Ю.С. Козлов, О.К. Кузнецов, И.А. Тулаев. – М.: Машиностроение, 1993. – 202 с.

84. Тельнов, Н.Ф. О механизме накипеобразования. / Н.Ф. Тельнов, В.П. Мороз, Н.А. Очковский // Научные труды «Доклады МИИСП». – 1971. – С. 72-77.

85. Ткачев, К.В. Технология неорганических соединений бора / К.В. Ткачев, Ю.С. Плышевский. – Л.: Химия, 1983. – 208 с.

86. Установка для очистки изделий [Текст]: пат. 2802615 Рос. Федерация: МПК С1/ Юдин В.М., Лялякин В.П., Юдин М.В., Вихарев М.Н., Тарасов И.А.; Заявка № 2023107055 от 24.03.2023; опубл. 30.08.2023.

87. Фадеев, И.В. Влияние амидоборатного комплекса на коррозию и коррозионную усталость стали Ст. 10 / И.В. Фадеев, Ш.В. Садетдинов, А.М. Новоселов // Приволжский научный журнал. – 2014. – №3. – С. 31-35.

88. 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.

89. 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. 13-16.

90. 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.

91. Фадеев, И.В. Разработка синтетических моющих средств на основе боратов для очистки поверхности металлов: монография [Текст] / И.В. Фадеев, Ш.В. Садетдинов, И.Е. Илларионов. Под общ. ред. И.Е. Илларионова. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. гос. ун-та, 2016. – 185 с.

92. 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.

93. Фадеев, И.В. Выбор рационального режима мойки деталей узлов и агрегатов транспортных средств / И.В. Фадеев // Автотранспортное предприятие. – 2016. – №5. – С. 28-31.

94. Фадеев, И.В. Определение рациональной концентрации синтетических моющих средств в растворах для мойки деталей, узлов и агрегатов / И.В. Фадеев, И.Н. Смолина // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: материалы конференции. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова. – 2016. – Т. 4, № 5-4 (25-4). – С. 169-173.

95. Фадеев И.В. Основы научных исследований и патентования:

учебное-методическое пособие / И.В. Фадеев, А.В. Рязанов. – Чебоксары: ЧГПУ им. И.Я. Яковлева, 2023. – 325 с.

96. Фадеев, И. В. Совершенствование технологии мойки деталей при ремонте машин / И. В. Фадеев, И. А. Успенский, И.А. Юхин, А. В. Шемякин; под общ. ред. И. А. Успенского. – Чебоксары : Чуваш. гос. пед. ун-т, 2020. – 343 с.

97. Фадеев, И. В. Исследование влияния компонентов агрессивной среды дорожного полотна на коррозию днища кузова легкового автомобиля: дисс. ...канд. техн. наук: 05.22.10 / Фадеев Иван Васильевич. – М., 2010. – 224 с.

98. Фадеев, И. В. Определение оптимальной концентрации синтетических моющих средств в моющем растворе / И.В. Фадеев // В сб. научных трудов 17-го Республиканской технической научно-практической конференции: Дорожно-транспортный комплекс: состояние, проблемы и перспективы развития. Чебоксары: Волжский филиал МАДИ, 2018. – С. 264-275.

99. Фадеев, И.В. Повышение эффективности технологического процесса мойки при ремонте автомобилей в сельском хозяйстве: автореф. дисс. ...доктора техн. наук: 05.20.03 / Фадеев Иван Васильевич. – Рязань, 2019. – 39 с.

100. Фадеев, И.В. Повышение эффективности технологического процесса мойки при ремонте автомобилей в сельском хозяйстве: дисс. ...доктора техн. наук: 05.20.03 / Фадеев Иван Васильевич. – Рязань, 2019. – 395 с.

101. Фатюхин, Д.С. Разработка технологии и оборудования для ультразвуковой очистки инжекторов: дисс. ...канд. техн. наук: 05.02.08 / Фатюхин Дмитрий Сергеевич. – М., 2001. – 200 с.

102. Фёдорова, А.Ф. Технология химической чистки и крашения. 2-е изд., перераб. и доп. / А.Ф. Федорова. – М.: Легпромбытиздат, 1990. – 336 с.

103. Черноиванов, В. И. Очистка и мойка машин и оборудования [Текст] / В.И. Черноиванов, В.Н. Лосев, А.Л. Быстрицкая. – М.: ГОСНИТИ, 1998. – 99 с.

104. Шварц, Е.М. Взаимодействие борной кислоты со спиртом и оксикислотами / Е.М. Шварц. – Рига: Зинатне, 1990. – 414 с.

105. Шемякин, А.В. Совершенствование организации работ, связанных с хранением сельскохозяйственных машин в условиях малых и фермерских хозяйств: автореф. дисс. ...доктора техн. наук : 05.20.03 / Шемякин Александр Владимирович. – Мичуринск, 2014. – 39 с.

106. Шемякин, А. В. Повышение эффективности противокоррозионной защиты стыковых и сварных соединений сельскохозяйственных машин консервационными материалами / А. В. Шемякин, В. В. Терентьев, М. Б. Латышенко // Известия Юго-Западного гос. ун-та. – 2016. – № 2. – С. 89-911.

107. Шемякина, Е.Ю. Технология очистки сельскохозяйственных машин с обоснованием параметров и режимов работы моечной установки с воздушным экраном: автореф. дисс. ...канд. техн. наук : 05.20.03 / Шемякина Евгения Юрьевна. – Рязань, 2009. – 22 с.

108. Успенский, И.А. Определение оптимальной продолжительности процесса мойки деталей в растворе синтетического моющего средства / И.А. Успенский, И.В. Фадеев, Е.В. Митрохина, С.Н. Кулик // Техника и оборудование для села. – 2020. – №8 (278) С. 42-44.

109. Юдаков, Е.Г. Разработка технологии и оборудования для ультразвуковой очистки корпусных деталей автотракторных двигателей: автореферат дисс. ...канд. техн. наук: 05.02.08 / Юдаков Евгений Геннадьевич. – М., 2013. – 19 с.

110. Юдин, В.М. Очистка машин и оборудования при техническом сервисе: учебное пособие / В.М. Юдин. – М.: Изд-во ФГБОУ ВО РГАЗУ, 2015. – 43 с.

111. Яруллин, М.Г. Интенсификация очистки изделий в погружных моечных машинах на базе пространственных механизмов: дисс. ...доктора техн. наук: 05.20.03 / Яруллин Мунир Гумерович. – Казань, 2002. – 487 с.

112. Byshov N.V., Uspensky I.A., Fadeev I.V., 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.

113. Rojagoplan, K.S. Orantification of the elements contributing to the direct cost corrosion and its application to the chloralkoli inolstry / K.S. Rojagoplan. // I. Sci and Int. Res., 1985, no. 8, pp. 430-431.
114. Perry D.L. Handbook of Inorganic Compounds. – 2nd ed. – CRC Press, 2011. – 30 p.
115. Yang, L. The Study of Atmospheric Corrosion of Carbon Steel and Aluminum under Salt Deposit Using Coupled Multielectrode Array Sensors / L. Yang, R.T. Pabalan, D.S. Dunn // the 204th Meeting of the Electrochemical Society – Abstract 465, Extended Abstract Volume 2003-II (Pennington, NJ: Electrochemical Society, 2003).
116. <https://studfile.net/preview/2180832/page:22/>.
117. <https://studizba.com/lectures/inzhenerija/osnovy-tehnologii-proizvodstva-i-remonta-avtomobilej/38592-mojuschie-sredstva.html>.
118. <https://stc-soltec.ru/catalog/moechnye-mashiny/>
119. <https://gtshina.ru/buying-a-car/moechnye-mashiny-dlya-detalei-moika-chastei-dvigatelya-do-bleska-moechnye/>
120. Справочник моториста
http://www.dizelmotor.in/index/detali_dvigatelja/0-33

ПРИЛОЖЕНИЯ

**ПРИЛОЖЕНИЕ А
(СПРАВОЧНОЕ)
ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ**

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ООО «СПК Новоселки»
И. В. Зюба



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы Зюба Валентина Владимировича на тему: «Совершенствование мойки деталей при ремонте автотракторной техники в агропромышленном комплексе», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

Мы, нижеподписавшиеся, главный инженер ООО «СПК Новоселки» Сучков С.С., заведующий мастерскими Жиганов Е.А. составили настоящий акт в том, что результаты диссертационной работы Зюба В.В. на тему: «Совершенствование мойки деталей при ремонте автотракторной техники в агропромышленном комплексе» внедрены в технологические процессы ТО и ремонта автотракторной техники в ООО «СПК Новоселки» (391133, Рязанская область, Рыбновский район, с. Новоселки).

Использование разработанной автором многокомпонентного моющего раствора на основе 3%-го водного раствора синтетического моющего средства Лабомид-203 с добавкой монобората калия концентрацией 5 г/л и комбинированного способа активации этого раствора при погружной мойке деталей агрегатов автотракторной техники позволило повысить степень очистки деталей (до 97,5%), коррозионную стойкость вымытых деталей до 18,2 суток и улучшить санитарно-гигиенические условия труда работников в ремонтной мастерской, что положительно повлияло на повышение качества ремонта, надежности и ресурса отремонтированной техники, а также сокращение материальных и трудовых затрат в ремонтном производстве.

Главный инженер
Заведующий мастерскими

 С.С. Сучков
 Е.А. Жиганов

«17» июля 2024 г.