

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «РЯЗАНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ П.А. КОСТЫЧЕВА»

На правах рукописи



Кулик Сергей Николаевич

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ МАШИН
И ОБОРУДОВАНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Специальность 4.3.1. – Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель: д.т.н., доцент
Фадеев Иван
Васильевич

Рязань – 2023

АННОТАЦИЯ

Введение посвящено обоснованию актуальности рассматриваемой в работе задачи, описывает степень разработанности выбранной темы, обосновывает выбор цели и задач, методов исследований, включает научную новизну, также теоретическую и практическую значимости результатов исследований, перечень положений работы, выносимых на защиту, отражает степень достоверности и апробации результатов исследований.

Первая глава содержит обзор и анализ рассматриваемого в диссертации вопроса коррозии и защиты от коррозии машин и оборудования животноводческих комплексов и ферм. Выявлены основные факторы, влияющие на срок службы машин и оборудования животноводства, проанализированы научные исследования в области борьбы с коррозией, способы защиты от коррозии, их недостатки и преимущества, рассмотрены агрессивные составляющие атмосферы животноводческих комплексов и ферм и их влияние на коррозионную стойкость деталей машин и оборудования, обоснован выбор объекта и предмета исследований.

Во второй главе проведены теоретические исследования коррозионных процессов металлов в атмосфере животноводческих комплексов и совершенствования противокоррозионной защиты машин и оборудования животноводства в процессе их эксплуатации по назначению, также проведен анализ факторов, влияющих на интенсивность коррозии, теоретически обосновано влияние совершенствования противокоррозионной защиты деталей на срок службы машин и оборудования.

В третьей главе разработаны методики, примененные при проведении экспериментов в лабораторных и производственных условиях. Приведены методики определения интенсивности коррозионных процессов в изучаемых средах, исследования физико-механических и защитных свойств полученных противокоррозионных составов, определения влияния агрессивных составляющих атмосферы животноводческих комплексов и ферм на коррозию

деталей машин и оборудования, проведения электрохимических исследований процессов коррозии и методы статистической обработки результатов экспериментов.

В четвертой главе проведены лабораторные и производственные исследования коррозии черных металлов в атмосфере животноводческих помещений и в водных растворах комбикормов, свойств защитных составов и улучшены их физико-механические свойства.

В пятой главе проведена производственная проверка разработок и их технико-экономическая оценка.

Сформулированы общие выводы.

Приведен список литературы, цитируемой автором в работе.

В приложениях представлены результаты выполненных научных исследований и документы о их внедрении в производство.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА.....	11
1.1. Срок службы машин и оборудования животноводческих комплексов и ферм	11
1.2. Анализ агрессивных сред животноводческих комплексов и исследование процессов коррозии поверхностей деталей машин и оборудования.....	14
1.3. Виды износа деталей машин и оборудования животноводства	21
1.4. Способы защиты деталей машин и оборудования животноводства от коррозии на стадии эксплуатации	29
1.5. Обоснование объекта и предмета исследований.....	33
1.6. Выводы по главе 1.....	34
2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ.....	36
2.1. Изменение ресурса машин и технологического оборудования животноводства в процессе эксплуатации.....	36
2.2. Процесс диффузии агрессивных компонентов среды в защитное покрытие.....	37
2.3. Теоретические предпосылки коррозии металлов под пленками защитных покрытий.....	44
2.4. Коррозия в щелях и зазорах.....	49
2.5. Некоторые способы улучшения защитных свойств противокоррозионных составов	51
2.8. Выводы по главе 2.....	53
3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ.....	54
3.1. Обоснование цели и задач исследований.....	54
3.2. Подготовка образцов и коррозионных сред.....	56
3.3. Методика определения коррозионных потерь образцов в электролитах.....	58
3.4. Методика исследования физико-механических и противокоррозионных свойств защитного покрытия.....	59

3.5. Методика определения влияния агрессивных составляющих атмосферы животноводческих комплексов и ферм на коррозию деталей машин и оборудования	62
3.6. Методика электрохимических исследований коррозии материалов машин и оборудования животноводства.....	65
3.7. Методика статистической обработки результатов экспериментов...	66
3.8. Выводы по разделу 3.....	71
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	72
4.1. Обоснование количества параллельных опытов	72
4.2. Исследование коррозии черных металлов в атмосфере животноводческих помещений	75
4.3. Исследование влияния составляющих атмосферы на коррозию конструкционных материалов	82
4.4. Исследование коррозии металлов в водных растворах комбикормов.....	91
4.5. Исследование свойств составов и улучшение их защитных и физико-механических свойств	95
4.6. Выводы по разделу 4.....	102
5. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОВЕРКИ РАЗРАБОТОК И ИХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА..	103
5.1. Сравнительная оценка защитных покрытий.....	103
5.2. Расчет экономического эффекта разработанных мероприятий.....	105
5.3. Выводы по разделу 5.....	108
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....	109
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	111
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	129

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Коррозия – это разрушение металлов вследствие химического или электрохимического взаимодействия их с коррозионной средой [24]. В последнее время под коррозией понимают сложный физико-химический процесс: в ее основе лежит электрохимическое (а не химическая, как считали прежде) растворение металлов и сплавов [39]. Она является одним из наиболее распространенных и опасных видов разрушения металлоизделий [128]. «Потери от коррозии во всем мире продолжают оставаться огромными. Она способствует невосстанавливаемой потере металла, приводит к нарушению технологического процесса производства продукции из-за непрогнозируемого выхода из строя той или иной детали машины, чаще всего по причине уменьшения прочности и повышенного износа вследствие ее коррозионного разрушения, а, следовательно, и увеличению затрат на восстановление работоспособности машин в целом.

Во всех сферах народного хозяйства, в том числе и в агропромышленном комплексе (АПК), машины и оборудование эксплуатируются в самых различных агрессивных средах, к которым можно отнести атмосферные факторы в виде повышенной относительной влажности воздуха, росы, перепадов температуры, солнечной радиации, наличия в воздухе атмосферы пыли и других загрязнений, а также технологических сред и их остатков на деталях изделий» [75, 98]. Их действие снижает ресурс изделий. В большинстве случаев коррозионный износ превышает величину механического износа от применения машин по функциональному назначению [27, 69, 70, 113, 114, 115, 116, 128]. «Известно, что ежегодные прямые потери металлов из-за коррозии в России составляют до 12% от общей массы металлофонда, а стоимость косвенных потерь превышает ее стоимость в 3-4 раза. В сельском хозяйстве они составляют 10-12% от общего металлофонда страны, а срок службы техники по сравнению с промышленностью и транспортом сокращается в 2,5-3 раза. Из-за коррозионного разрушения происходит до 33% отказов сельскохозяйственных машин, на

40-55% снижается прочность углеродистых сталей, в 2-4 раза увеличивается износ сопряженных деталей» [16, 20, 21, 68, 75].

Решение вопроса защиты металлов от коррозии особенно важно в условиях животноводческих комплексов (ЖВК) и ферм [30, 31, 71, 80, 81, 82, 83, 87, 88, 89, 116, 146]. Здесь среда наиболее агрессивна: «относительная влажность воздуха (на уровне 65-80%, в холодное время года достигает до 95% и выше с образованием конденсата на поверхности металлоизделий), повышенная концентрация аммиака, сероводорода и углекислоты, перепады температуры в течение суток, отсутствие солнечных лучей (способствует развитию микроорганизмов и биологической коррозии), малая скорость перемещения воздуха, постоянное наличие на поверхности кормоприготовительных и кормораздаточных машин технологических остатков, невозможность регулярной очистки машин и оборудования от загрязнений, попадание частиц экскрементов животных и навозной жижи на поверхности изделий, наличие открытой водной поверхности в автопоилках и на полу» [41, 53, 75]. В пленке влаги легко растворяются различные загрязнения с образованием электролитов, активизирующие процессы разрушения защитных и лакокрасочных покрытий деталей, а также коррозии металлоизделий [80, 81, 84, 85, 105] и снижение их механической прочности [72]. В стыках и зазорах (резьбовые соединения, места соединения деталей и т.п.) ускоряются процессы щелевой коррозии [52, 60].

Вышеизложенное свидетельствует, что повышение стойкости деталей машин и оборудования ЖВК к разрушительному воздействию агрессивных компонентов атмосферы помещений и технологических остатков, а также улучшение физико-механических свойств применяемых защитных составов является **актуальной задачей**, решение которой остро востребовано в АПК страны.

Степень разработанности темы исследования. При достаточно высоком значении относительной влажности воздуха на поверхности металлических изделий в результате постепенной адсорбции из воздуха образуется пленка влаги, которая поглощая механические (пыль) и химические (сернистый газ, двуокись азота, фенол, формальдегид, растворимые сульфаты, окись азота, хлор

и др.) примеси, загрязняет поверхности машин животноводческих комплексов [128]. Загрязнения и их смеси, осаждаются как на наружных, так и на внутренних поверхностях деталей, вызывая коррозионное разрушение и способствуя снижению ресурса машин.

Для защиты от коррозии кормоприготовительных и кормораздаточных машин и оборудования, а также водопроводной сети в помещениях ЖВК применяют битумные составы [14]. Улучшению их физико-механических свойств придают большое значение [4, 82]. Однако, защитные пленки на их основе при незначительной толщине (0,2-1,2 мм) растрескиваются и служат не более 0,8-1,5 года, обнажая поверхность металла.

Вопросами совершенствования и повышения эффективности защиты машин занимались и занимаются российские и зарубежные ученые Дашков В.Н., Вигдорович В.И., Северный А.Э., Карелина М.Ю., Кравченко И.Н., Рязанов В.Е., Бышов Н.В., Шемякин А.В., Успенский И.А., Фадеев И.В., Дорохов А.В., Amirudin A., Jherry D., Leidheiser H. Jr., Knaster M. и др.

Решение задачи совершенствования противокоррозионной защиты машин и оборудования ЖВК позволяет повысить коррозионную стойкость машин и оборудования к воздействию агрессивных компонентов атмосферы помещения и технологических остатков, а также улучшить эстетические условия труда, что способствует экономии трудовых и материальных затрат при ремонте машин и оборудования.

Цель исследования – повышение коррозионной стойкости деталей машин и технологического оборудования ЖВК.

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

1. Проанализировать факторы, способствующие коррозии деталей машин и технологического оборудования ЖВК, способы их защиты при эксплуатации.
2. Выявить наиболее коррозионно-активные компоненты атмосферы и кормовых остатков, влияющие на коррозию деталей машин и технологического оборудования ЖВК.

3. Разработать состав для повышения стойкости деталей машин и технологического оборудования ЖВК к воздействию агрессивных компонентов атмосферы помещений и кормовых остатков.

4. Произвести технико-экономический анализ результатов исследований.

Объект исследования: процесс коррозии деталей машин и технологического оборудования от воздействия агрессивной среды помещений ЖВК и кормовых остатков.

Предмет исследования. Коррозионная стойкость поверхностей деталей машин и технологического оборудования ЖВК, ингибиторные свойства битумно-бензиновых композиций и добавок к ним.

Научная новизна работы:

– усовершенствована противокоррозионная защита деталей машин и технологического оборудования ЖВК, которая позволяет повысить их стойкость к воздействию агрессивных компонентов атмосферы помещения и кормовых остатков;

– экспериментально доказана эффективность использования олигомера Д10ТМ в качестве добавки для повышения противокоррозионных свойств битумно-бензиновой композиции для защиты деталей машин и технологического оборудования ЖВК;

– получена математическая модель влияния компонентов атмосферы помещений на коррозию деталей машин и технологического оборудования ЖВК при различных их сочетаниях.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что в результате теоретических и экспериментальных исследований доказана целесообразность использования олигомера Д10ТМ в качестве добавки для повышения противокоррозионных свойств битумно-бензиновой композиции для защиты от коррозии деталей машин и оборудования ЖВК; обоснована рациональная концентрация олигомера Д10ТМ в битумно-бензиновой композиции; получено уравнение, описывающее влияние составляющих атмосферы помещений ЖВК на коррозию конструкционных материалов деталей машин и оборудования

ЖВК; определены наиболее опасные с точки зрения щелевой коррозии размеры зазоров в конструкции машин и оборудования ЖВК.

Практическая значимость заключается в том, что по результатам исследований разработан состав для повышения стойкости деталей машин и оборудования ЖВК к разрушительному воздействию агрессивных компонентов атмосферы животноводческих помещений и технологических остатков. Результаты исследований внедрены в производство и используются для защиты деталей машин и оборудования ЖВК от коррозии в процессе эксплуатации и хранения в ООО «Рассвет» (391007, Рязанская область, Клепиковский район, с. Давыдово).

Методы исследований:

– теоретические методы – в работе применялись методы корреляционного и регрессионного анализа, математические методы моделирования на базе многофакторного эксперимента, теории вероятностей и математической статистики;

– экспериментальные методы – исследования проводились в лабораторных и производственных условиях: изучалась кинетика коррозии металлов, закономерности изменения коррозионных потерь металлов, влагоемкости покрытий во времени. Электрохимические процессы изучались потенциодинамическим методом относительно хлорсеребряного электрода с последующим пересчетом на шкалу нормального водородного электрода в натуральных и имитирующих реальные условия эксплуатации машин и оборудования средах.

– производственные исследования проводились в реальных условиях эксплуатации машин и технологического оборудования ЖВК и ферм.

Положения, выносимые на защиту:

1. Зависимости влияния факторов загрязнения атмосферы помещений и кормовых остатков на коррозию деталей машин и технологического оборудования ЖВК.

2. Состав для повышения стойкости деталей машин и технологического оборудования к воздействию агрессивных составляющих атмосферы животноводческих помещений и кормовых остатков.

Степень достоверности результатов исследования. Получению обоснованных, достоверных и соответствующих теме диссертации результатов исследований и общих выводов способствовало применение современных методов моделирования, поверенных средств измерений и методов обработки данных.

Апробация результатов исследования. Основные положения диссертации излагались, обсуждались и были одобрены на 1-ой Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвящённой памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова «Развитие научно-ресурсного потенциала аграрного производства: приоритеты и технологии», РГАТУ им. П.А. Костычева, г. Рязань, 2021 г., Национальной научно-практической конференции, посвященной 95-летию д.т.н., профессора А.А. Сорокина «Современное состояние и перспективы развития механизации сельского хозяйства и эксплуатации транспорта», РГАТУ им. П.А. Костычева, г. Рязань, 2021 г., Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Подготовка кадров на технолого-экономическом факультете: традиции и направления развития» (ЧГПУ им. И.Я. Яковлева, г. Чебоксары, 2020 г.).

Личный вклад соискателя. Лично соискателем разработаны: методика совершенствования противокоррозионной защиты машин и оборудования ЖВК, способ повышения противокоррозионных свойств битумно-бензиновой композиции. Соискатель планировал и проводил эксперименты, статистическую обработку и анализ результатов экспериментов, разработал рекомендации по применению вновь разработанного состава при противокоррозионной защите машин и оборудования ЖВК.

Публикации. По теме диссертации автором опубликовано 7 печатных работ: 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК. Объем публикаций составляет 2,75 усл. п.л., из которых на долю автора приходится – 1,93 усл. п. л.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы, включающего 148 наименований, в том числе 11 на иностранных языках, и приложений, изложена на 141 страницах, включает 42 таблицы и 50 рисунков.

1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

1.1 Срок службы машин и оборудования животноводческих комплексов и ферм

Машины и оборудование для механизации трудоемких процессов в животноводстве имеют наименьший срок службы среди различных машин и технологического оборудования агропромышленного комплекса (АПК) [10, 30, 43, 45, 69, 71, 74, 80, 81, 83, 84, 87, 88, 89, 105, 106, 107, 109, 114, 137, 138]. Необходимо отметить, что почти все машины и технологическое оборудование уже на стадии проектирования в силу тех или иных причин не рассчитаны к долгосрочной эксплуатации в агрессивной среде животноводческих помещений. Результаты анализов срока службы машин и оборудования животноводства в центральной печати опубликованы в работах [61, 62, 66, 71], где отмечены незначительные сроки их службы и причины возникновения коррозионных процессов, приведены примеры рационального проектирования.

Коррозия конструкционных материалов приводит к сокращению срока амортизации изделий: если до 1980 года норма амортизации на все машины составляла 14,4%, т.е. плановый срок службы был равен 7 годам, а животноводческое оборудование служило 3-5 лет, то с 1980 г. пересмотрены и утверждены новые нормативы амортизации по раздатчикам кормов на уровне 20% [132], а по навозоуборочным транспортерам даже на 25% [31].

Много нареканий у механизаторов, обслуживающих оборудование животноводства, вызывает надежность водопроводной сети, кормораздатчиков, навозоуборочных транспортеров, контрольно-пускового электрооборудования машин, тягово-приводные устройства и т.п. [131]. Сквозное коррозионное поражение защитных кожухов вентиляторов в помещениях свинарников является причиной полного выхода из строя уже через 2-3 года их эксплуатации. В [30] приведены данные по влиянию срока использования кормораздатчиков в свинарниках на относительное удлинение и износ втулочно-роликовых цепей (рисунки 1.1 и 1.2).

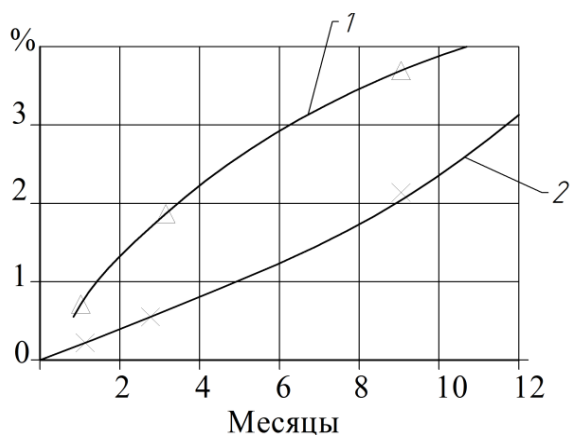


Рисунок 1.1 – Относительное удлинение втулочно-роликовых цепей в процессе использования на раздаче влажных (1) и сухих (2) комбикормов

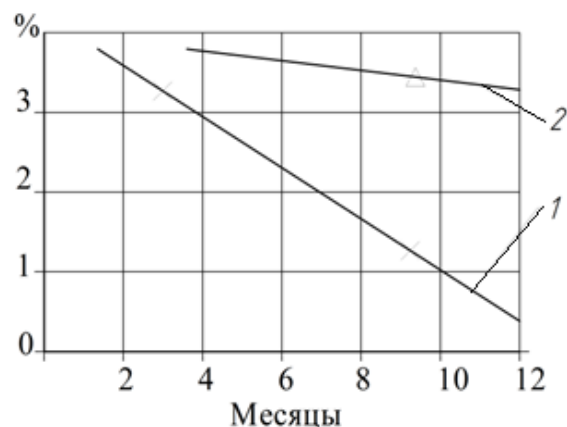


Рисунок 1.2 – Уменьшение поперечного сечения пластин втулочно-роликовых цепей в процессе использования на раздаче влажных (1) и сухих (2) комбикормов

Данные рисунков 1.1 и 1.2 показывают, что на интенсивность изнашивания цепей влияет состояние перемещаемой технологической среды.

«Скребокковые транспортеры для уборки навоза также имеют малый срок службы. Они собраны из пластин листовой стали Ст45, соединены между собой пальцами круглого сечения из стали 65Г. Если шейки пальцев изнашиваются менее интенсивно, то проушины пластин (их два на каждой пластине) подвержены повышенному износу вследствие постоянного воздействия водных стоков, мочи и ферментов животных, т.е. подвержены как механическому, так и коррозионному износу. При нерегулярном удалении навоза, вследствие накопления его в канаве, цепь подвержена повышенным силовым нагрузкам, что также способствует интенсивному механическому износу и частым отказам» [72, 75].

Следует отметить и тот факт, что заводы-изготовители выпускают машины низкого качества, а стоимость их весьма высока. Так, реализуемая цена несложного по конструкции электрифицированного смесителя кормов оценивается стоимостью нового автомобиля средней грузоподъемности. Практика показывает, что высокая стоимость машины сказывается на эффективности ее эксплуатации, т.к. ее цена накладывается на себестоимость продукции в виде начислений на их использование и амортизационные затраты, техническое обслуживание (ТО) и текущий ремонт (ТР).

Исследование ряда кормоприготовительных и кормораздаточных машин свинарников, коровников и птичников по производству яиц (клеточное содержание кур-несушек) в ряде сельскохозяйственных предприятий (СХП) Рязанской области подтвердили вышеизложенное. При этом установлено, что именно разрушение лакокрасочного и защитного покрытий и повышенный износ вследствие коррозии определяет низкий эксплуатационный срок машин и технологического оборудования ЖВК и ферм. По причине постоянного использования машин в течении года восстановление покрытий затруднено.

Прямой ущерб от коррозии деталей машин исчисляется не только малым сроком службы изделий, потерей материала, но и рядом других факторов, которые можно классифицировать на конструктивные, проектные и эксплуатационные. Выход из строя ответственной детали кормораздатчика ведет к нарушению технологического процесса кормления животных, а это сразу сказывается на продуктивности животных или уменьшении среднесуточного привеса на откорме. Нарушение технологии кормления дойных коров на 1-2 часа в сутки ведет к снижению их ежедневной продуктивности на 3-5%, которая восстанавливается только через 5-6 суток [118, 140].

Исследования деталей машин и технологического оборудования по установлению доли коррозионного износа в их общем износе проводились недостаточно [30, 69, 71].

До 30-х годов прошлого века в нашей стране значительных научных исследований в области защиты от коррозии машин и оборудования животноводства не было. Если теоретические и практические исследования атмосферной коррозии в сельской, промышленной и приморской зоне проводились в ИФХ АН и в нескольких других НИИ с использованием существующего и специально-разработанного оборудования [6, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 123, 124, 125, 135, 136], то исследования по коррозии в атмосфере животноводческих помещений начались только в 60-х годах 20-го века [73].

В печати начали появляться научные работы по требованиям к хранению машин и технологического оборудования ЖВК и ферм, на базе которых были разработаны отдельные положения по обеспечению сохранности машин

животноводства. Они вошли в ГОСТ 7751-85 «Техника, используемая в сельском хозяйстве. Правила хранения», впоследствии в отредактированную версию [26].

Были разработаны основы теории и достаточно полно изучены механизмы коррозии металлов, определены меры борьбы с коррозией. В этом велика заслуга отечественных ученых-коррозионистов: Г.В. Акимова, И.Л. Розенфельда, Н.Д. Томашова, С.А. Балезина, В.В. Скорчелетти, Ю.Р. Эванса, С.Г. Веденкина, М.И. Михайловского, С.А. Кузьминского и др.

Совершенствованием сельскохозяйственной техники (СХТ), а также ее противокоррозионной защитой активно работали и работают сотрудники ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (ГОСНИТИ) (г. Москва), МГАУ (г. Москва), ВНИИТ и Н (г. Тамбов), ЧИМЭСХ (г. Челябинск), Воронежского ГАУ имени императора Петра I. Большая заслуга в решении этой проблемы принадлежит В.Д. Прохоренкову [88, 89], В.К. Астанину [2, 3, 140], А.Э. Северному [113, 114, 115, 116], А.Ф. Поцкалеву [87], Е.А. Пучину [92, 93, 94], Пухову Е.В. [90, 91], А.М. Кадырметову [46], Р.Р. Филонову [129] и другим.

1.2 Анализ агрессивных сред животноводческих комплексов и исследование процессов коррозии поверхностей деталей машин и оборудования

При анализе коррозионных процессов, происходящих на поверхностях деталей машин в процессе эксплуатации, необходимо в первую очередь провести классификацию факторов, влияющих на изменение физико-механических свойств конструкционных материалов [19, 23].

Исследование состояния машин и сред, действующих на поверхности деталей в процессе эксплуатации машин и оборудования, позволило представить факторы коррозионной среды помещений в виде специальной схемы (рисунок 1.3).

Из этих факторов в нашей работе рассмотрены атмосфера воздуха, артезианская вода и технологическая среда.

Приведенные на рисунке 1.3 среды могут воздействовать на конструкционные материалы по отдельности, так и в различных сочетаниях.

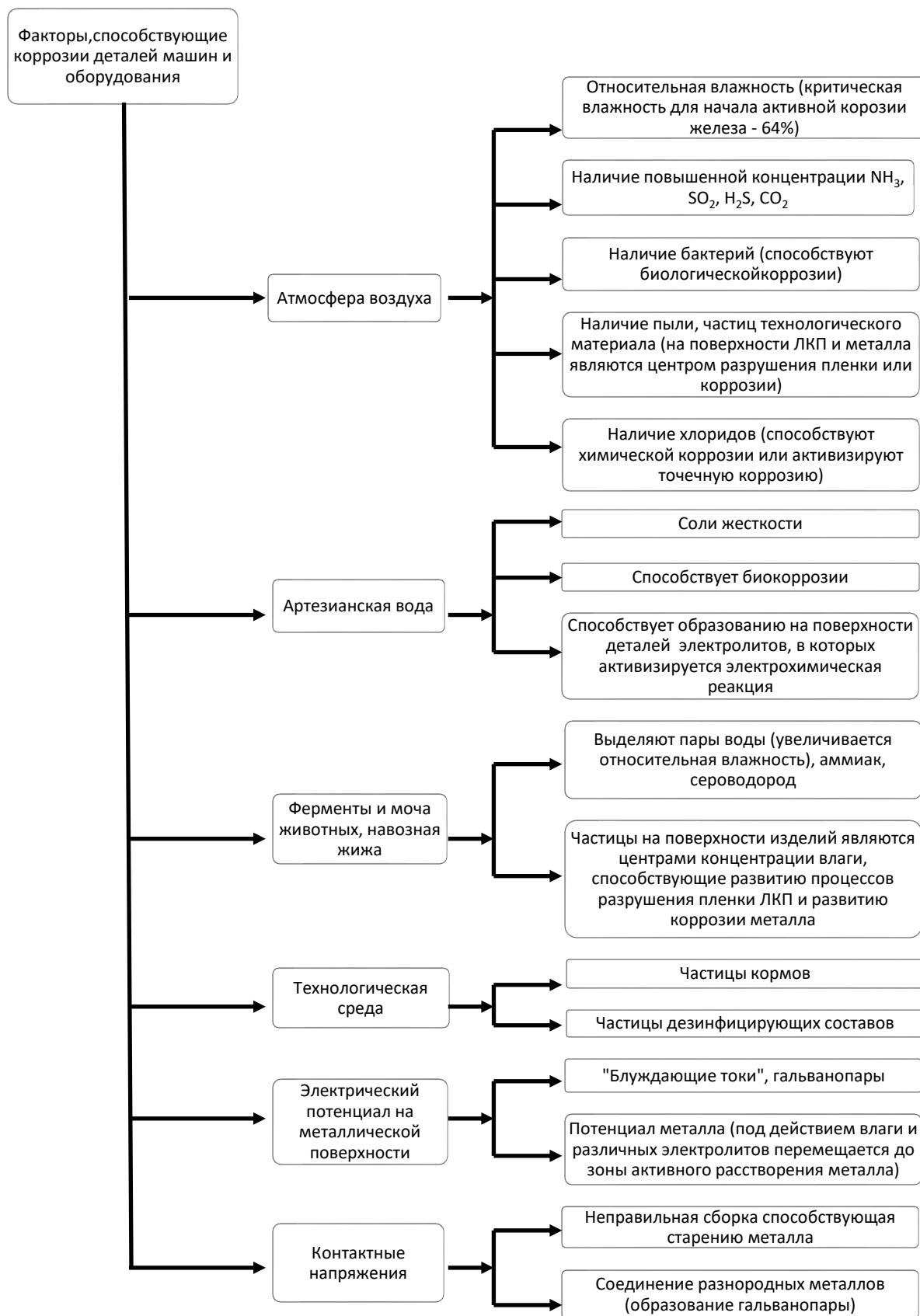


Рисунок 1.3 – Классификация основных факторов, способствующих коррозии металлов в условиях эксплуатации машин и технологического оборудования ЖВК

Так в работе [80] приведены результаты исследования отдельного и парного воздействия факторов на износ деталей клеточной батареи КБУ-3 птичника кур-несушек. Показано, что на процесс коррозии влияют, в основном, экскременты кур-несушек. Опилки хвойных пород древесины, используемые в качестве подстилочного материала, проявляют частично ингибирующее действие, они в отдельности не влияют на процесс коррозии, а при совместном действии с экскрементами птиц проявляют тормозящее действие на процесс коррозии стали Ст3.

Приведенный пример доказывает, что для раскрытия механизма коррозии конструкционного материала в той или иной среде необходимо учитывать основные факторы, действующие на материал, а также вид материала. Это хорошо видно из работы [129], в которой приведены результаты изучения влияния аммиака, сероводорода, углекислоты и сернистого ангидрида на коррозию стали Ст3 и меди М1 постановкой многофакторного эксперимента плана $N = 2^4$. Доказано, что аммиак, как отдельно, так и в сочетании с другими газами по отношению к черным металлам нейтрален, а по отношению к меди – проявляет высокую коррозионную, а возможно, и химическую активность, поэтому перед планированием любых экспериментов необходимо установить все независимые переменные (действующие факторы) и выбрать основные факторы [42, 78, 80, 81, 120] и значения их уровней.

«Атмосфера животноводческих помещений характеризуется повышенным содержанием влаги, значительной концентрацией агрессивных газов и относительно низкой циркулирующей воздуха, небольшими колебаниями температуры в течение суток» [75, 79, 133] (таблица 1.1).

«На влажность воздуха влияет в основном испарение влаги со смоченных поверхностей пола, ограждений, машин и с открытой водной поверхности автопоилок, полов при уборке участков содержания животных и навозной жижи. Интенсивность испарения воды зависит от температуры и относительной влажности воздуха» [75] (рисунок 1.4 и 1.5). Анализируя графики на рисунках 1.4 и 1.5, можно сделать вывод, что повышение температуры и уменьшение относительной влажности воздуха способствует интенсивности испарения влаги.

Таблица 1.1 – Нормы температуры и относительной влажности воздуха свинарников [75]

Назначение помещения	Температура, °С		Относительная влажность, %
	зимой	летом	
Свинарник-маточник	18	24	30-75
Для подсосных поросят	24	24	30-75
Для поросят отъемышей	22	22-24	30-75
Свинарник-откормочник	18	22-25	30-75
Коровник	14-16	16-20	50-75

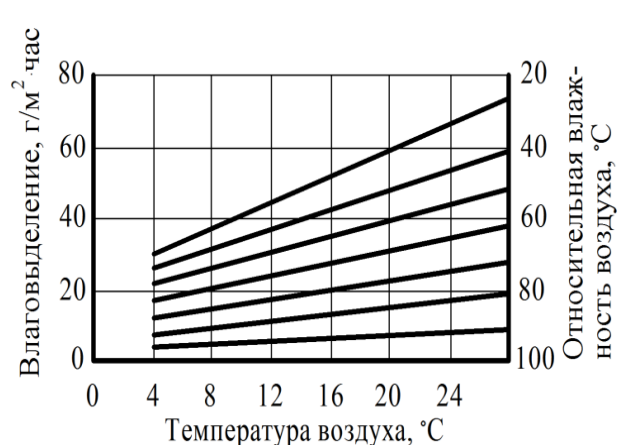


Рисунок 1.4 – Удельное влаговыделение со смоченных поверхностей пола

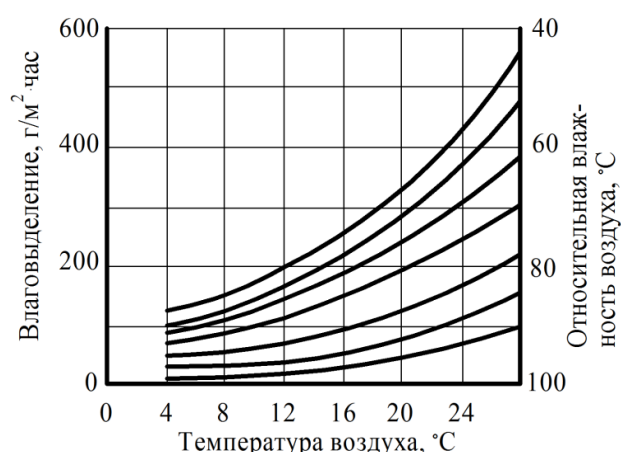


Рисунок 1.5 – Удельное влаговыделение с открытой водной поверхности

Интенсивность испарения влаги со смоченных поверхностей имеет прямолинейный, а с открытой водной поверхности степенной характер, описываемый соответствующими уравнениями регрессии в следующем общем виде:

$$y = a + bx \pm k, \quad (1.1)$$

$$y = a + bx + cx^2 \pm k, \quad (1.2)$$

где y – показатель влаговыделения;

a, b, c – коэффициенты уравнений регрессии;

x – температура воздуха.

«Пары воды выделяются и животными. Например, взрослые свиньи на откорме с живой массой до 100 кг выделяют в час до 132 г, с массой от 100 до 200 кг – до 175 г, а с живой массой от 200 до 300 кг – 230 г паров воды» [75].

В работе [75] определены концентрации вредных компонентов атмосферы воздуха свинарника по временам года, которые представлены в таблице 1.2. Пробы отбирались ежедекадно через 10 дней в каждый месяц в течение года в соответствии с методикой, приведенной в [41].

Таблица 1.2 – Содержание вредных составляющих в атмосфере свинарника в зависимости от сезона года [75]

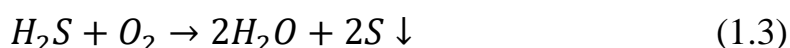
Сезон года	Средняя концентрация, мг/м ³			
	NH ₄	H ₂ S	CO ₂ , %	SO ₂
Зима	31-41	6-9	0,33-0,37	5-9
Весна	24-32	5-8	0,26-0,28	0-3
Лето	16-26	1-5	0,13-0,16	0-2
Осень	22-32	6-10	0,25-0,29	2-5

В [97] приведены значения предельно-допустимых концентраций (ПДК) вредных газов, кроме сернистого ангидрида, в атмосфере воздуха помещений животноводческих предприятий (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – ПДК вредных газов в атмосфере животноводческих помещений

Наименование газов	%	л/м ³	мг/м ³
Углекислый газ	0,25	2,5	4940
Аммиак	-	0,026	20
Сероводород	-	0,0064	10

Сравнение таблиц 1.2 и 1.3 позволяет сделать вывод, что в течение всего года фактическое содержание вредных газов намного превышает ПДК. Сероводород вступает в реакцию с кислородом воздуха, образуя сернистую кислоту, которая имеет низкую жизнеспособность при свете, и сразу же разлагается на воду и серу [105]:



Этим и объясняется его содержание в животноводческих помещениях в пределах ПДК. Образованию сероводорода в помещениях животноводческих предприятий способствует гниение (разложение) частиц кормов. Сера удаляется из помещений в составе навоза и навозной жижи.

В связи с переходом животноводства на промышленную основу, животных круглый год начали содержать в закрытых помещениях. Поэтому требования к поддержанию нормативных значений микроклимата в них резко возрастают. В [96] рекомендованы следующие температурные условия содержания животных, °С:

- для свинарников 14...18
- в помещениях для содержания репродуктивных свиней 18...20
- для коровников 14...16

Во всех случаях относительная влажность воздуха должна быть в пределах 70-75%. Эта величина выше критической точки (64%) начала активации коррозии железа [63, 89]. Однако, на практике невозможно постоянно поддерживать оптимальное состояние микроклимата [95, 107].

Надо отметить, что вредные газы в помещении, в основном, выделяются из экскрементов и мочи животных.

«В моче сельскохозяйственных животных содержится около 96% воды и 4% сухого вещества. В состав сухого остатка входят разнообразные соединения как органического, так и неорганического происхождения. Среди органических веществ главное место занимают азотистые соединения (мочевина, мочевая кислота), и аммиак-пуриновые основания и т.д.» [75] (таблица 1.4).

Таблица 1.4 – Средняя составная часть мочи сельскохозяйственных животных

Наименование	Содержание, %
Вода	93-96
Мочевина	2
Мочевая кислота	0,005
Натрий	0,35
Калий	0,15
Магний	0,04
Кальций	0,006
Хлор	0,60
PO_4^{3-}	0,27
SO_4^{2-}	0,18

Кислотно-щелочной баланс мочи коров находится в пределах $pH \approx 8,7$, свиней – $pH \approx 9$ [12].

Основными коррозионно-активными компонентами мочи животных и атмосферы помещений по отношению к стали являются сульфаты и хлор-ионы. Сульфаты, хлор-ионы, аммиак коррозионно-активны по отношению к меди и её сплавам, а к алюминию коррозионную активность они не проявляют [131]. Поэтому одним из способов защиты от коррозии металлоконструкций в атмосфере животноводческих помещений должно быть создание энергосберегающей системы оптимального микроклимата, совершенствование технологии приготовления и раздачи влажных мешанок [12] с целью снижения возможности скопления технологических остатков, которые при их гниении выделяют сероводород, сульфатсодержащие бактерии и аммиак [45].

В таблице 1.5 приведен средний состав, а в таблице 1.6 – минеральный состав и содержание аминокислот в комбикормах [12].

Таблица 1.5 – Состав комбикормов

Наименование	Содержание, %
Ячмень	10
Пшеница	46
Кукуруза	10
Отруби пшеничные	17
Шрот соевый	10
Рыбная мука	2
Дрожжи кормовые	4
Мел	1

Аминокислоты аргинин и гистидин могут проявлять ингибиторные свойства по отношению к черным металлам [7, 9, 11, 138].

«При приготовлении кормовых смесей добавляют хлористый натрий (поваренную соль), различной концентрации в зависимости от вида животных. Хлористый натрий в области исследования коррозии принимают в качестве эталона сравнения. При диссоциации он выделяет хлор-ионы, способствующие точечной (язвенной) коррозии. Поражение металла идет преимущественно

вглубь, чем в ширину, что опасно с точки зрения уменьшения механической прочности изделий» [75].

Таблица 1.6 – Минеральный состав и содержание аминокислот в кормах, г/кг

Наименование	Ячмень	Пшеница	Кукуруза	Отруби пшеничные	Шрот соевый	Рыбная мука	Дрожжи кормовые
1	2	3	4	5	6	7	8
Минеральный состав							
Кальций	1,23	0,6	0,42	1,77	3,2	60,60	
Калий	7,32		4,08	9,93		17,26	
Натрий	0,57			1,97		2,84	
Магний	1,18		1,24	2,98			
Фосфор	3,29	4,8	3,10	10,11	6,0	32,05	
Сера	1,16		0,59	2,04			
Хлор	1,45		1,43	1,36			
Аминокислоты							
Лизин	4,4	3,9	2,9	5,7	2,7	56,1	32,8
Метионин	1,8	2,1	1,9	1,9	5,7	18,3	8,2
Цистеин	1,8	2,0	1,0	2,2	6,2	12,0	4,8
Триптофан	1,6	1,8	0,8	1,9	6,2	6,3	6,3
Аргинин	5,2	7,0	4,1	9,6	33,4	42,2	27,0
Гистидин	2,4	2,9	2,1	3,9	10,6	14,5	13,0
Лейцин	7,7	9,4	12,2	9,5	33,9	50,4	36,7
Изолейцин	4,9	5,9	4,6	6,5	24,2	34,6	31,4
Фенилаланин	5,9	6,9	4,8	5,5	21,6	28,4	20,3
Треонин	3,7	3,9	3,5	4,3	17,2	28,4	20,3
Валин	5,9	6,0	5,4	7,7	23,3	36,5	29,5

1.3 Виды износа деталей машин и оборудования животноводства

Ряд работ [8, 16, 19, 23, 27, 38, 43, 59, 72, 78, 82, 87, 88, 89, 113, 114, 117, 118, 121, 122, 136, 137, 143] посвящен изучению коррозионных процессов и повышению коррозионной стойкости деталей машин, а в работах [30, 69, 71, 80, 81, 83, 84, 105, 106, 107, 108, 109, 111, 112, 138] рассмотрены вопросы коррозии и защиты машин и технологического оборудования ЖВК и ферм.

Классификация видов изнашивания, как структурного проявления износа машин и оборудования ЖВК и ферм, приведена на рисунке 1.6.

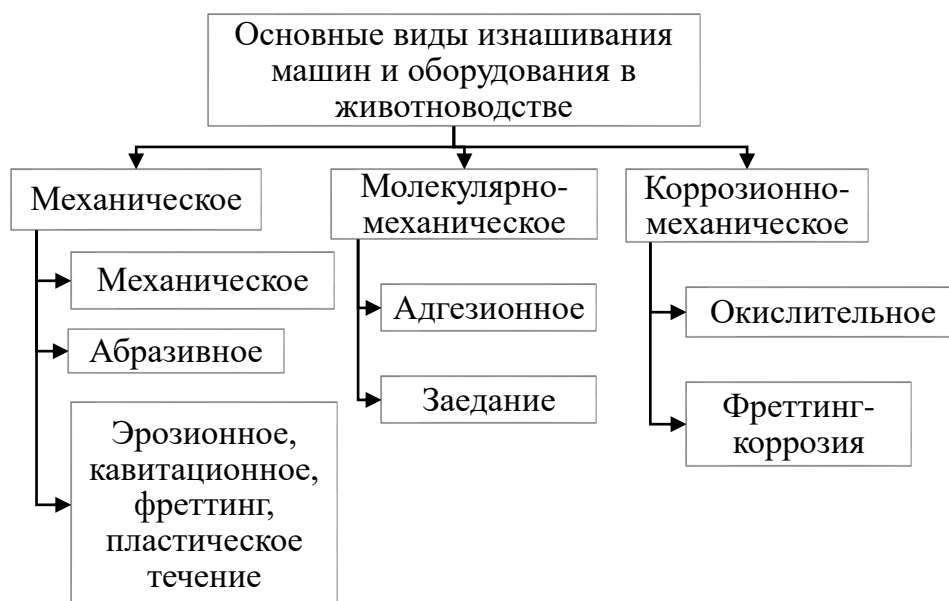


Рисунок 1.6 – Классификация видов изнашивания машин

Коррозионно-механическое изнашивание в отличие от молекулярно-механического и механического изнашивания, является следствием действия множества случайных факторов, поэтому почти не поддается регулированию и прогнозированию и преобладает над другими видами изнашивания [128].

Процессы коррозии классифицируются по четырем классификационным признакам (таблице 1.7).

Таблица 1.7 – Классификация коррозионных процессов

№ п/п	Классификационный признак	Коррозия
1	Механизм взаимодействия материала со средой	Химическая, электрохимическая
2	Характер коррозионной среды	Газовая, атмосферная, жидкостная, подземная (почвенная), биологическая
3	Условия протекания коррозионного процесса	Структурная, контактная, щелевая, коррозия под напряжением, фреттинг-коррозия, коррозионная кавитация и т.д.
4	Вид коррозионного разрушения поверхности детали	Сплошная, местная (локальная) и т.д.

Анализ таблицы 1.7 позволяет определить наиболее характерные для конкретного оборудования ЖВК коррозионные процессы, примеры которых приведены на рисунках 1.7-1.14.



Рисунок 1.7 – Заполнение навозоуборочного канала в коровнике



Рисунок 1.8 – Характер коррозионного износа деталей скребкового навозоуборочного транспортера в свиарнике



Рисунок 1.9 – Общий вид коррозионного поражения поверхностей контрольно-пускового электрооборудования коровника



Рисунок 1.10 – Коррозия приводного вала раздатчика кормов



Рисунок 1.11 – Коррозия деталей ограждений свиарника



Рисунок 1.12 – Коррозионное поражение резьбового соединения



Рисунок 1.13 – Коррозионное поражение деталей втулочно-роликовых цепей привода кормораздатчика



Рисунок 1.14 – Коррозия труб, применяемых для закрепления привязей животных в коровнике дойного стада

«Химическая коррозия протекает в сухих газах и в тех средах, которые не проводят электрический ток (коррозия гильзо-поршневой группы, деталей выпускного тракта двигателя внутреннего сгорания при взаимодействии поверхностей деталей с отработавшими газами и т.д.).

Электрохимическая коррозия протекает при наличии на поверхности изделий даже тонкой пленки электропроводной влаги. К этому виду относится наиболее распространенная атмосферная коррозия материалов.

Электрохимической коррозии подвержены практически все участки и поверхности деталей машин» [67, 128]. Этому способствует повышенная влажность и загрязненность атмосферы помещений ЖВК и ферм различными коррозионно-агрессивными по отношению к конструкционным материалам газами.

Вышеизложенное позволяет сформулировать основные пути решения проблемы увеличения срока службы машин и оборудования (таблица 1.8). Аналогичные результаты получены и в [83].

Таблица 1.8 – Основные пути решения проблемы сохранности машин и оборудования

Сельское хозяйство	Промышленность	Строительство
Обучение специалистов способам защиты от коррозии машин и оборудования	Приспособление выпускаемых машин к условиям эксплуатации в агрессивной среде	Типовые проекты, обеспечивающие постоянство оптимального состава микроклимата
Внедрение противокоррозионной службы в хозяйствах. Создание материально-технической базы ТО, ремонта и борьбы с коррозией	Приложение к выпускаемым машинам карт по ТО с выделением обязательных мероприятий по противокоррозионной защите	Наличие в каждом помещении участка по ремонту и ТО машин
Своевременное проведение мероприятий по защите от коррозии металлоизделий	Соответствие поставляемых комплектующих изделий и материалов условиям эксплуатации	Применение надежных покрытий металлоизделий, строительных конструкций и др.
Комплекс организационно-технических мероприятий. Материальное и моральное стимулирование за сохранение техники	Выпуск машин и оборудования с узлами и деталями, срок службы которых кратен сроку наработки на ТР машин	

Классификация видов коррозии, наиболее часто встречающихся при эксплуатации машин и технологического оборудования ЖВК и ферм, представлена на рисунке 1.15.

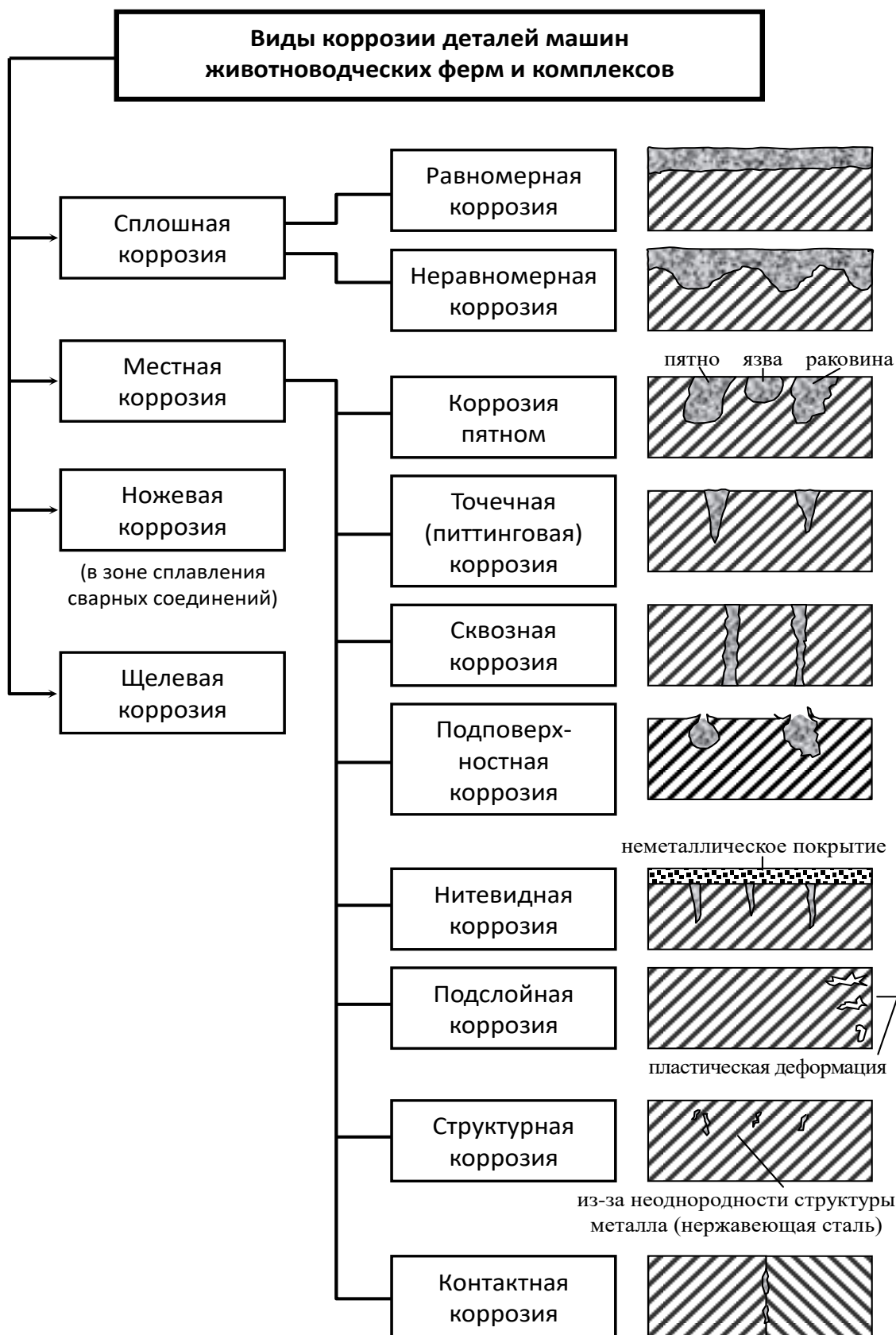


Рисунок 1.15 – Классификация видов коррозии деталей машин ЖВК и ферм

1.4 Способы защиты деталей машин и оборудования животноводства от коррозии на стадии эксплуатации

Общая защита машин от коррозии осуществляется на всех стадиях:

- на стадии их проектирования и изготовления;
- на стадии эксплуатации;
- в период хранения, когда животные находятся в летних лагерях или на выгульных площадках (короткий период теплого времени года).

В настоящее время самым применяемым и перспективным, дешевым и надежным методом противокоррозионной защиты машин и технологического оборудования ЖВК на стадии эксплуатации является метод нанесения лакокрасочных покрытий (ЛКП) [25, 65]. ЛКП должны соответствовать требованиям по устойчивости к колебаниям температуры, влажности окружающей среды, воздействию солнечной радиации, атмосферных осадков, коррозионно-агрессивных механических и химических загрязнений окружающей среды и др. [128].

Важнейшей характеристикой ЛКП является ее сплошность, т.е. отсутствие в структуре образовавшейся пленки пор, что надежнее изолирует металл от окружающей среды, препятствуя проникновению к поверхности защищаемого металла различных коррозионно-активных реагентов.

Однако, полностью предотвратить проникновение электролита к металлу через пленку ЛКП невозможно. Проникновение электролита происходит по диффузионному механизму.

Защитные свойства ЛКП во многом зависят от составов лакокрасочных материалов (ЛКМ) и системы их покрытий, предусматривающие использование различных грунтовок, которые обеспечивают эмалям высокую адгезию к металлу, прочность и эластичность при изгибе. Практика показывает, что наиболее применяемыми в настоящее время на предприятиях АПК являются грунтовки ГФ-0119, ГФ-020, ГФ-021, ГФ-031, ПФ-0142, ПФ-020 [62].

Достаточно широкое применение в последнее время получили полиуретановые (ПУ) ЛКМ. В 2001 году мировое их производство составило около 700 т. В России в общем рынке производимых ЛКМ на их долю

приходится всего лишь 5% из-за импортирования основного сырья. Пленки из них обладают высокими физико-механическими и антикоррозионными свойствами. Имеется опыт их применения даже на объектах нефтегазовой промышленности [5].

В структуре ЛКП толщина слоя грунтовки не превышает 50% от толщины ЛКП, однако в основном (80%) защитное действие ЛКП обеспечивается слоем грунта.

Исследования показывают, что увеличение адгезии повышает противокоррозионные свойства ЛКП. Особая роль в увеличении адгезии отводится фосфатированию подложки. Роль фосфатирования поверхности металлоизделий на физико-механические свойства ЛКП велика. Фосфатирующие растворы для совместной обработки стали, оцинкованной стали и алюминия позволяют получить адгезионные кристаллические фосфатные слои массой 2,5-2,8 г/м², пригодным для дальнейшего окрашивания при соответствующих режимах [60]. Фосфатная пленка, представляющая собой различные фосфатные соединения с металлом, устойчива в сухой атмосфере, смазочных маслах, в бензине, керосине. В связи с этим в последнее время в нашей стране стали уделять большое внимание методам и средствам фосфатирования поверхностей металлоизделий в машиностроении [22, 25, 28, 60, 61, 64, 78, 93].

Коррозия изделий при разрушении ЛКП показана на рисунках 1.16 и 1.17.



Рисунок 1.16 – Разрушение ЛКП и коррозия на поверхности вентиляционной шахты



Рисунок 1.17 – Разрушение ЛКП и коррозия на дверце электрораспределительного щита

С практической точки зрения предпочтительнее «применение грунтов, наполненных различными пигментами, оказывающими на металл такое же действие, как и фосфаты» [29, 118].

В последние годы для защиты машин и оборудования ЖВК и ферм широко применяются ингибиторы коррозии [5, 9, 22, 54, 102], которые могут образовать на поверхности металла защитную пленку (пленкообразующие), или сместить электродный потенциал металла в сторону пассивации. Они могут применяться самостоятельно и в составе защитных покрытий, в т.ч. в составе ЛКМ.

В общем виде способы защиты машин и технологического оборудования при эксплуатации можно выразить схемой, представленной на рисунке 1.18.

При эксплуатации машин на поверхности деталей образуются различные загрязнения, разрушаются ЛКП, обнажая подложку. Но в условиях ЖВК и ферм трудно организовать очистку изделий и их ремонтную перекраску.

Наличие загрязнений на поверхности изделия вызывает коррозию металла. Это объясняется тем, что частицы грязи удерживают влагу (электролит), которая способствует процессам разрушения защитного покрытия и началу коррозии металла, т.е. частицы грязи являются центрами коррозии. При ремонтной окраске желательно улучшить физико-химические и противокоррозионные свойства материалов.

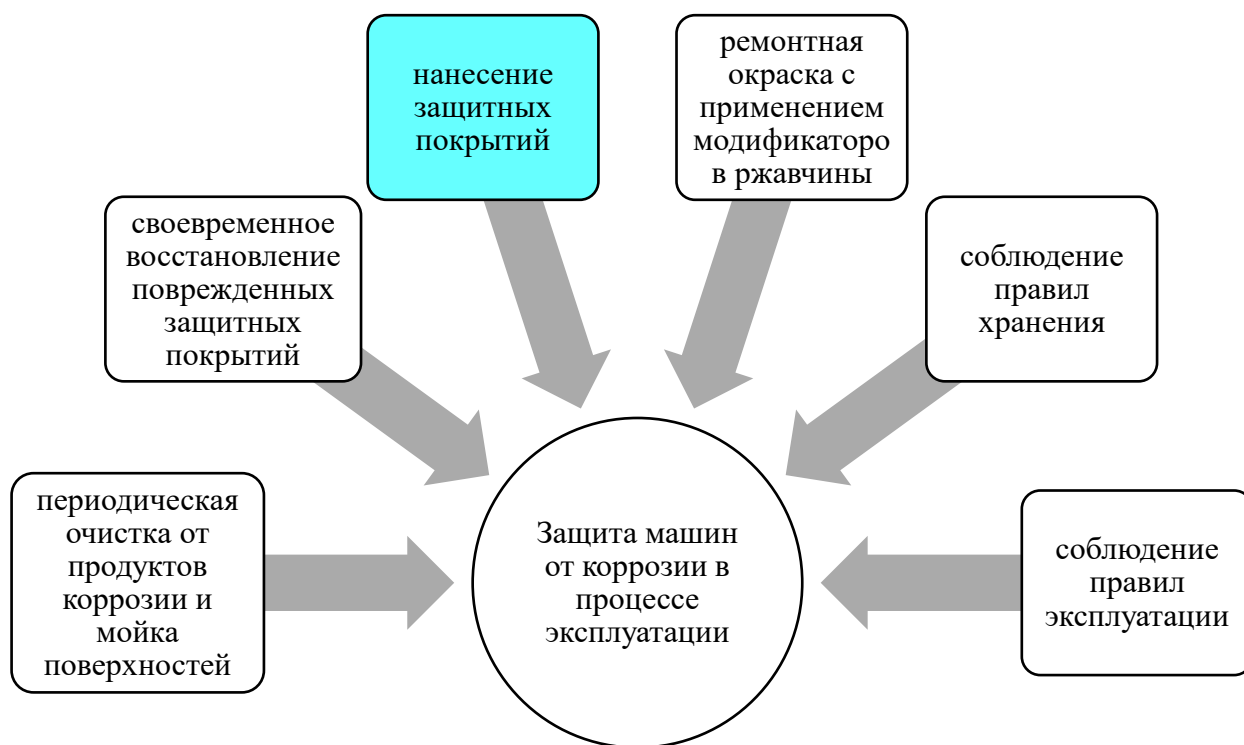


Рисунок 1.18 – Классификация способов защиты машин и оборудования во время эксплуатации

Машины и оборудование при выгульном содержании крупного рогатого скота (лагерное содержание во время летнего сезона) не эксплуатируются. Поэтому именно в этот период требуется наносить различные консервационные материалы. В качестве консервационных материалов применяют маслорастворимые ингибированные составы НГ-203, НГ-204, битумно-бензиновые составы и другие. Они, имея хорошую проникающую и водовытесняющую способность, достаточно эффективно защищают от разрушения как ЛКП, так и металлы от коррозии.

На базе битумов разработаны противокоррозионные и противозумовые мастики БПМЗ «Барьер» и другие. Повышения свойств можно добиться введением в них полиэфируретандиметакрилатного олигомера Д-10ТМ [76, 77, 126, 127].

Можно отметить и ряд других методов и способов защиты деталей машин от коррозии:

- электрохимические методы;
- конструктивные;

- применение рационального способа размещения машин и оборудования;

- устройства вентиляционных систем, обеспечивающих оптимальные климатические условия и т.д.

Использование электрохимических методов защиты кормоприготовительных машин в условиях ЖВК и ферм практически не находит применения из-за неоднородности конструкционных материалов различных деталей.

Конструктивные способы защиты относятся к деятельности конструкторских бюро СКБ и предусматривают следующее:

- применять по возможности такие металлы, которые по своим электродным потенциалам находятся в близкой области во избежание образования гальванопар;

- избегать такие узлы и участки, где могут создаваться застойные зоны для технологического материала;

- конструкция машины должна быть такой, чтобы при ее очистке и мойке в емкостях и узлах не оставались частицы жидкостей;

- избегать по возможности образования в соединениях деталей щелей и зазоров, где может скапливаться влага, технологическая среда и т.п.;

- резьбовые соединения должны быть уплотнены, выступающая из гайки часть болта не превышала 2-3 витка резьбы.

1.5 Обоснование объекта и предмета исследований

Из аналитического обзора априорной информации и практики видно, что машины и оборудование ЖВК и ферм эксплуатируются в течение 2-4 часов в сутки, а в остальное время суток находятся в нерабочем состоянии, вне зависимости от того, что технологический процесс содержания животных является непрерывным, а приготовление и раздача кормов – процесс циклический. Поверхности деталей машин и оборудования подвержены круглосуточному воздействию агрессивных факторов атмосферы помещения и технологических сред при приготовлении и раздаче кормов и их остатков.

Все факторы, действующие на поверхности машин и оборудования в первом приближении можно сгруппировать на две группы:

- *технологическая среда* (корма, влажные кормовые мешанки и их составляющие);
- *атмосферные факторы* (повышенная влажность воздуха, наличие в воздухе аммиака, сероводорода, углекислого газа, сернистого ангидрида и т.п.).

Объектом исследования является процесс коррозии деталей машин и технологического оборудования от воздействия агрессивной среды помещений ЖВК и кормовых остатков, **предметом исследования** – коррозионная стойкость поверхностей деталей машин и технологического оборудования ЖВК, ингибиторные свойства битумно-бензиновых композиций и добавок к ним.

В качестве материала изготовления машин и оборудования изучались:

- *низкоуглеродистая сталь Ст 3* (основной конструкционный материал для деталей технологического оборудования ЖВК, занимает 95-99% от общей массы изделий);
- *высокоуглеродистые стали: Сталь 45 и Сталь 65Г*, применяются для изготовления втулочно-роликовых цепей, подверженным силовым нагрузкам, и от которых зависит надежность работы машин и оборудования ЖВК (практика показывает, что на них приходится до 85-90% от общего отказа в работе машин).

В качестве защитных материалов исследованы битумные составы и добавки к ним. В качестве добавок исследованы маслорастворимые присадки АКОР-1, НГ-203, олигомер Д-10ТМ.

Изучался характер влияния составляющих атмосферы на износ элементов пускозащитного электрооборудования (рубильники, пускатели, кнопочные станции, распределительные щиты и т.п.).

1.6 Выводы по главе 1

1. Основными способами защиты от коррозии машин и технологического оборудования ЖВК во время эксплуатации являются:

- рациональное размещение машин и оборудования, поддержание оптимальных климатических условий в помещениях;
- защита металлических поверхностей стойкими ЛКП и улучшение их физико-механических свойств;
- своевременное восстановление поврежденных защитных покрытий с применением модификаторов ржавчины;
- регулярная очистка от технологических остатков;
- соблюдение правил хранения и эксплуатации.

2. Из рассмотренных способов и средств защиты от коррозии в производственных условиях следует отдать предпочтение методам воздействия на металл, в частности, применению ЛКМ и изолирующих материалов, также организационным способам, как относительно недорогих и достаточно надежных средств.

3. Разрабатываемые способы и средства защиты от коррозии металлоизделий должны соответствовать следующим основным требованиям:

- продолжительный срок защитного действия;
- механическая прочность и эластичность;
- повышенная стойкость к воздействию агрессивных составляющих атмосферы помещений и технологических остатков, а также различных химически активных жидкостей и газов;
- высокая сплошность, т.е. отсутствие микро-, макропор в их пленках;
- высокая адгезия их к металлическим поверхностям или окрашенным основаниям в течение длительного времени;
- способность сместить электродный потенциал подложки в положительную сторону с увеличением ширины области пассивации.

4. Защитный эффект ЛКП формируется из защитных действий трех составляющих: эмали, грунтовки и фосфатного слоя (фосфатный слой формируется между поверхностью защищаемого металла и грунтовкой).

2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

2.1 Изменение ресурса машин и технологического оборудования животноводства в процессе эксплуатации

Ранее было отмечено, что ресурс машин и технологического оборудования ЖВК и ферм в основном реализуется при использовании их по функциональному назначению и во время простоя между периодами эксплуатации (рисунок 2.1)

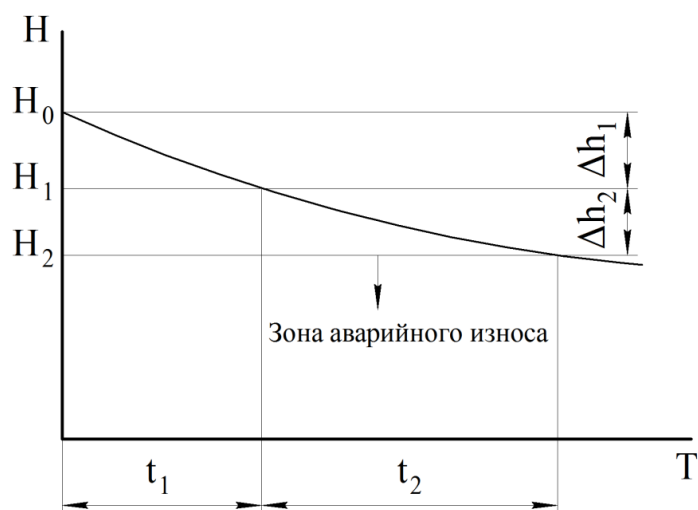


Рисунок 2.1 – Реализация ресурса изделия N при его эксплуатации

N_0, N_1, N_2 – номинальный, допустимый и минимальные ресурсы;
 Δh_1 – зона нормальной эксплуатации; Δh_2 – зона риска эксплуатации

Функцией износа деталей при эксплуатации любого изделия является

$$f(N_0 - \Delta h_1 - \Delta h_2) \rightarrow \min \quad (2.1)$$

где N_0 – номинальный параметр детали;

Δh_1 – износ в зоне нормальной эксплуатации изделия;

Δh_2 – износ в зоне аварийной эксплуатации.

Можно предположить, что

$$\Delta h_1 = f_1(K_1; I_{M_1}) \quad (2.2)$$

$$\Delta h_2 = f_2(K_2; I_{M_2}) \quad (2.3)$$

где K – износ изделия от коррозии;

I_m – износ изделия от механического воздействия.

В условиях животноводческих ферм в первом приближении можно принять $K_1 \cong K_2$ и $I_{m_1} \cong I_{m_2}$.

Зависимость степени механического износа можно принять постоянной. Тогда функцию (2.1) можно записать в виде:

$$f[H_0 - \Delta(h_1 + h_2)] \rightarrow \min \quad (2.4)$$

или

$$f[H_0 - f_1(K)] \rightarrow \min \quad (2.5)$$

или в конечном итоге

$$f(K) \rightarrow \min \quad (2.6)$$

На ресурс машин и оборудования ЖВК и ферм влияет и атмосферная коррозия. В зависимости от условий окружающей среды различают три типа атмосферной коррозии [39, 98, 100, 123, 124, 125, 148]:

– *мокрая атмосферная коррозия*, т.е. при наличии на поверхности видимой невооруженным глазом пленки влаги, которая возможна при 100%-й относительной влажности воздуха, а также при непосредственном попадании влаги (осадки, моющие растворы) толщиной более 1 мкм;

– *влажная атмосферная коррозия* при относительной влажности воздуха ниже 100%, толщиной влаги меньше 1 мкм, при этом коррозия деталей происходит под адсорбированной из воздуха пленки влаги;

– *сухая атмосферная коррозия*, толщина пленки влаги составляет $(80-100) \cdot 10^{-10}$ м.

В условиях животноводческих ферм первые два случая преобладают из-за высокой относительной влажности воздуха. Поэтому коррозия деталей протекает под пленкой влаги.

2.2 Процесс диффузии агрессивных компонентов среды в защитное покрытие

Обеспечение надежной защиты от коррозии узлов, механизмов и деталей машин и оборудования по приготовлению и раздаче кормов в животноводческих комплексах должно базироваться на анализе ранее

проведенных теоретических экспериментальных исследований переноса электролитов через покрытия. Для оценки защитного покрытия надо знать, какие физико-химические процессы могут протекать в покрытии под действием агрессивной среды.

Основной задачей, которую приходится решать при защите металлоизделий от коррозии, является уменьшение переноса агрессивной среды в покрытие. В настоящее время нет единой теории, обеспечивающей связи количества адсорбированного электролита с основными компонентами систем ЛКП. Схема общей пленки ЛКП представлена на рисунке 2.2.

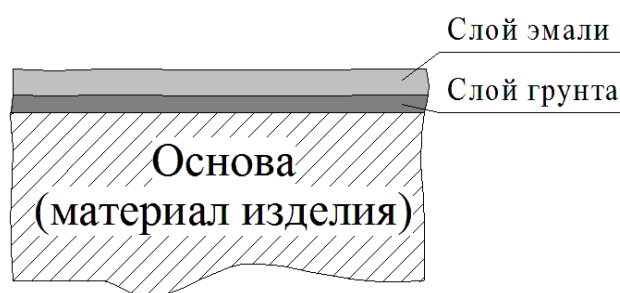


Рисунок 2.2 – Стандартная схема защитного покрытия на поверхностях машин и оборудования животноводства

При изучении явлений массопереноса большинство исследователей руководствуются активационной моделью, согласно которой молекулы жидкости переходят из одних макропор покрытия в другие, свободный объем которых зависит от плотности упаковки макромолекул связующего вещества и равномерности распределения наполнителей. «Для выполнения элементарного акта диффузии необходимо выполнение двух условий: наличие вблизи рассматриваемой молекулы свободного пространства («дырки») и необходимого количества энергии» [69, 123, 124, 128].

На основе закона сохранения массы и закона сохранения и превращения энергии разработаны дифференциальные уравнения массопереноса, позволяющие получить наиболее полное представление о законах распределения диффундирующего вещества в материале с течением времени [124]:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}, \quad (2.7)$$

$$dQ = p\omega \frac{dp}{dX} d\tau \quad (2.8)$$

Уравнение (2.7) относится к нестационарному состоянию потока жидкости с градиентом концентрации $\partial C/\partial \tau$ и позволяет определять величину коэффициента диффузии D , а уравнение (2.8) – к стационарному состоянию и позволяет определить количество электролита Q , прошедшее через покрытие толщиной X и площадью ω при разности давлений p по обе стороны.

ЛКП имеет много дефектов структуры: пористость, неплотность адгезионных соединений наполнителя и связующего, образующих капиллярные каналы, которые обуславливают возникновение переноса влаги под действием перепадов давлений, капиллярного эффекта или фильтрационного потока. При больших размерах пор и капилляров фильтрационный поток может быть сопоставим с диффузионным или превышать его.

Кроме того, на процесс массопереноса оказывают значительное влияние компоненты среды. В частности, агрессивное влияние аммиака объясняется с возможной его реакцией гидролиза или омыления пленкообразующего вещества. Сернистый газ, растворяясь в воде, придает ей кислую реакцию, способствует старению покрытия. Согласно [18] к действию хлора большинство полимерных материалов неустойчиво.

Исследования показывают, что старение под действием агрессивных сред приводит к образованию крупных разветвленных агрегатов, соединенных друг с другом в неравномерную сетку. Этот процесс протекает неравномерно, так как покрытие уже в исходном состоянии является химически и структурно неоднородным, в результате чего один и тот же материал может проявлять различные свойства. Примером могут служить пентафталевые эмали, выпускаемые на основе алкидных пленкообразователей. В этих условиях различна водостойкость алкидных покрытий. При этом проницаемость электролитов от их состава до подложки различна и подпленочная коррозия во многом зависит от структуры электролита.

Состав электролита влияет на степень разрушения адгезионных связей покрытий с металлом и его степень коррозионного износа. Большое влияние на защитные свойства покрытий оказывают силы сцепления (адгезия) покрытия с

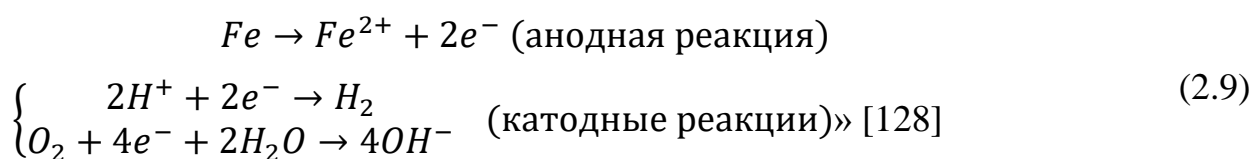
подложкой, т. к. она препятствует возникновению очага коррозии на границе подложка-покрытие.

В местах дефекта покрытий агрессивные реагенты достигают поверхности металла, где образуются анодные участки, а вокруг анодного участка под целостным покрытием – катодные зоны и происходит отслаивание и разрушение покрытия [128].

«Последовательность стадий окисления металла под защитной пленкой может быть представлена следующим образом [128]:

- проникновение электролита через ЛКП;
- адсорбция частиц электролита на поверхности метала;
- анодная реакция образования гидратированного иона металла с одновременным протеканием сопряженного процесса разряда иона водорода или ионизации кислорода.

Определяющей стадией процесса при этом является электромеханическое растворение металла по схеме:



Энергия активации, необходимая для образования «дырки» базирующейся на микро- и макропорах пленок, образующаяся при высыхании нанесенной пленки ЛКМ за счет испарения растворителей, возрастает с увеличением размера «дырки». С увеличением размера диффундирующей молекулы перенос её в полимерном материале затрудняется.

Но другие теоретические положения судят о том, что появление микропор вблизи диффундирующей молекулы не требует затрат энергии. Возможность перемещения молекулы в этом случае связывают с вероятностью появления вблизи от нее «дырки» необходимых размеров [128].

В [44, 108] приведена зависимость коэффициента диффузии D от доли свободного объема ψ :

$$D = R \cdot T \cdot A \exp\left(-\frac{B}{\psi}\right) \quad (2.10)$$

где R – универсальная газовая постоянная;

T – абсолютная температура, К;

V – минимальный размер «дырки», необходимой для перемещения диффундирующей молекулы;

A – постоянная величина.

Согласно [128] «проникновение воды и растворенных в ней газов через полимерное покрытие обусловлено наличием в нем как микроскопической (размер пор от 10^{-1} до 10^{-3} мм), так и субмикроскопической (размер пор от 10^{-4} до 10^{-6} мм) пористости, основными причинами возникновения которых являются внутренние напряжения и процессы окисления и деструкции макромолекул полимера. При этом в покрытии могут формироваться замкнутые, полузамкнутые и сквозные поры» с площадью поперечного сечения от 0,4 до 0,8 мм² (рисунок 2.3), наличие которых вызывает резкое увеличение водопоглощения покрытия [81].

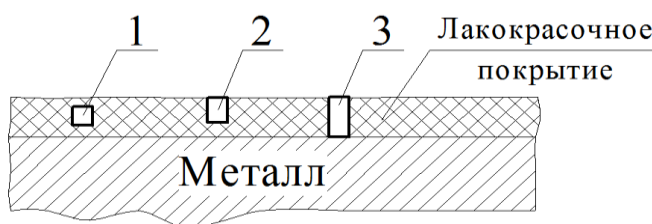


Рисунок 2.3 – Замкнутые (1), полузамкнутые (2) и сквозные (3) поры в покрытии

Присутствие в среде растворенных газов и различных солей оказывает значительное влияние на коррозию металла.

Аммиак. В аммиачных растворах на поверхности железа и сталей образуется пассивирующий слой, обладающий повышенной устойчивостью против анодного активирования в присутствии питтингообразующих анионов Cl^- , SO_4^{2-} . В аммиачной воде, используемой в сельском хозяйстве, в присутствии хлоридов не происходит образования питтингов.

Коррозионный потенциал стали Ст3 (-0,44 В) в аммиачно-хлоридных средах лежит в области активного растворения, однако при $\varphi \geq -0,3$ В поверхность стали начинает пассивироваться. В области устойчивого состояния

от $-0,2$ до $-0,4$ В скорость растворения не превышает $0,01$ г/м²·ч, не достигается подщелачивание среды, поэтому сталь не пассивируется.

Из диаграммы Пурбе следует, что при рН=7 и потенциале $-0,6$ В коррозия стали сопровождается образованием ионов: Fe^{2+} и гидроксида железа $Fe(OH)_2$. Теоретически образование вторичных продуктов коррозии осаждение их на поверхности железа в виде фазовой защитной пленки должно препятствовать дальнейшему распространению коррозии. На практике защитные свойства гидроксида двухвалентного железа оказываются очень низкими.

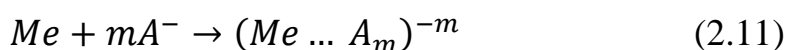
Углекислый газ. Коррозионные процессы, происходящие под воздействием углекислого газа на свободной и на защищенной поверхности металла, имеют свои особенности.

На анодных участках свободной поверхности в результате функционирования гальванических пар происходит непрерывное окисление железа благодаря беспрепятственному переходу ионов Fe^{2+} в раствор. Непрерывность процесса окисления металла обусловлена тем, что углекислота не полностью диссоциирует в воде на ионы H^+ , HCO_3^- , CO_3^{2-} , в результате чего наряду с этими ионами в воде находится большое количество недиссоциированных молекул углекислоты, ускоряющей коррозионный процесс. Поэтому на катодных участках идет постоянное восстановление ионов H^+ до свободного водорода (катодная водородная деполяризация).

Активное растворение стали наблюдается при взаимодействии CO_2 с другими химическими соединениями. Так, в присутствии CO_2 увеличивается агрессивность аммиачной воды по отношению не только к углеродистым, но и нержавеющей сталям. Активирование стали в этих условиях объясняется возможным образованием $(NH_4)_2CO_3$.

Сернистый газ. Компонентом действия его является продукт диссоциации серной кислоты – ионы HSO_4^- , SO_4^{2-} . Исследование покрытий (АС-182) на водопоглощение в присутствии сульфат-ионов показывает их сходство с ионами HCO_3^- , т. е. в обоих случаях установлено снижение скорости переноса электролита в покрытие. Однако по отношению как к свободной, так и

защищенной поверхности стали ионы SO_4^{2-} являются более коррозионно-агрессивными по сравнению с ионами HCO_3^- . В частности, скорость коррозии стали Ст3 под покрытием в присутствии последних снижается, при наличии ионов SO_4^{2-} – увеличивается. Процессы коррозии под влиянием различных компонентов агрессивной среды в свете представлений адсорбционной теории объясняются следующим образом. Компоненты среды вследствие адсорбционно-химического взаимодействия с атомами металла могут образовывать поверхностные комплексы по схеме:



где m – число анионов A^- , входящих в поверхностный комплекс [118].

Образующиеся на адсорбционных центрах подложки поверхностные комплексы $[FeOHSO_4]^{-m}$ недостаточно прочно адсорбированы на поверхности, в результате чего анодное растворение железа идет без заметного торможения как на свободной поверхности, так и под пленкой, т.е. в случае слабых электролитов (~3 мг SO_4^{2-} в 1 л воды) пассивирующие свойства сульфат-ионов [80] не обнаруживаются.

Хлорид натрия. В соответствии с описанным механизмом можно объяснить влияние и других агрессивных компонентов среды, например, хлорид-ионов, которые по природе воздействия на железо большинством исследователей признаны агрессивными [128].

Учитывая высокую проникающую способность ионов Cl^- следует ожидать увеличение скорости коррозии стальных изделий под покрытием.

Активирующее действие ионов Cl^- согласно адсорбционной теории объясняется адсорбционным вытеснением с поверхности металла растворенного в электролите кислорода, способного пассивировать поверхность стали. Активирование легче всего происходит на тех участках, где кислород менее прочно связан с металлом. Потенциал активированных участков становится более отрицательным по отношению к остальной окрашенной поверхности, не имеющей адгезионно ослабленных участков, что неизбежно вызывает функционирование активно-пассивных гальванических элементов и общий

потенциал металла смещается в отрицательную сторону, повышая скорость анодной реакции.

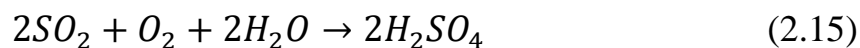
2.3 Теоретические предпосылки коррозии металлов под пленками защитных покрытий

Наличию на металлической поверхности пленки влаги способствует величина шероховатости поверхности (рисунок 2.4).



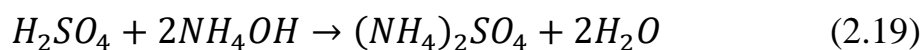
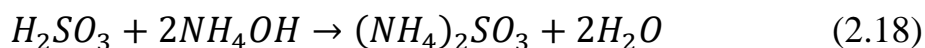
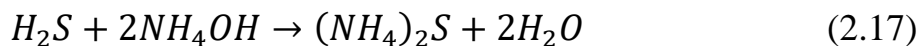
Рисунок 2.4 – Поперечное сечение поверхности:
 Δh – величина шероховатости

В пленке влаги легко растворяются агрессивные газы, образуя электролиты:



Следовательно, на поверхности изделий происходит электрохимическая коррозия, что доказывается работой [40].

Однако, образующиеся кислоты могут нейтрализоваться с помощью NH_4OH (концентрация аммиака в несколько раз больше концентрации остальных газов), образуя различные соли, которые могут входить в состав продуктов коррозии:



«Основной причиной конденсации влаги на поверхности металла является упругость паров, насыщающих пространство. Она зависит от кривизны мениска жидкости, над которым устанавливается равновесное давление паров. Так как поверхность изделия имеет шероховатость (рисунок 2.4), то между двумя соседними микровыступами образуется мениск (рисунок 2.5), который может иметь три формы: выгнутый, плоский и выпуклый» [118].

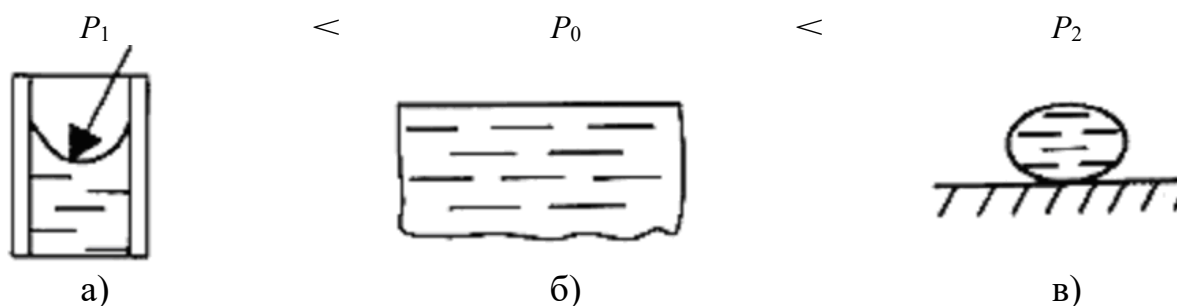


Рисунок 2.5 – Зависимость давления насыщенных паров от формы мениска поверхности жидкости на: а) вогнутая форма; б) плоская форма; в) выпуклая форма

Насыщенные пары будут иметь наименьшее равновесное давление над вогнутым мениском, а наибольшее давление над выпуклым, что способствует конденсации водяного пара преимущественно в вогнутых менисках, какими являются щели и зазоры, а над плоским и выпуклым мениском конденсация влаги не наблюдается по причине того, что пар не насыщается.

Кинетическая теория газов объясняет такое явление возможностью капиллярной конденсации [23]:

$$P_1 = P_0 \cdot e^{\frac{-2\sigma\vartheta}{2RT}} \quad (2.20)$$

где P_1 и P_0 – давления насыщенного пара над вогнутым мениском радиуса r и, соответственно, над плоской поверхностью жидкости с поверхностным натяжением при температуре T ;

ϑ – молекулярный объем жидкости;

R – газовая постоянная;

e – основание натурального логарифма.

На поверхности защитных и лакокрасочных покрытий могут образоваться микрокапилляры самых разных форм (рисунок 2.6), которые в силу вогнутости мениска выступают в качестве центров капиллярной конденсации.

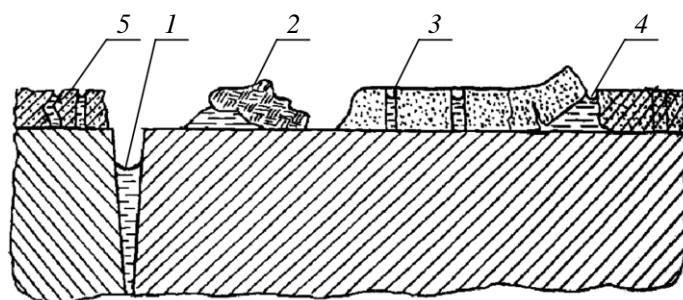


Рисунок 2.6 – Виды микрокапилляров на поверхности защитных или лакокрасочных покрытий: 1 – зазор между деталями; 2 – загрязнения; 3 – поры в защитных или лакокрасочных покрытиях; 4 – отслоение пленки защитного или лакокрасочного покрытия; 5 – продукты коррозии

Под воздействием атмосферы коррозионное разрушение идет вглубь металла, т.е. наблюдается питтинговая коррозия. Кроме этого, глубина поражения коррозией поверхностей, обращенных вверх и к земле, неодинакова: верхняя поверхность в отличие от нижней поверхности корродирует интенсивнее, по причине большей конденсации влаги в продукты коррозии (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Глубины поражения коррозией верхней и нижней поверхностей изделия

«Предполагается, что при наличии сернистого ангидрида в процессе его взаимодействия с группой OH^- во влажной среде может образовываться серная кислота, которая в дальнейшем вступает в реакцию с железом, а после нескольких стадий взаимодействия с ним возможно образование ангидрида и

процесс коррозии может возобновляться, т.е. процесс становится непрерывным без дальнейшего расхода ангидрида» [118].

Проникновение электролита к подложке происходит по диффузионному механизму [94, 104]. Кроме этого через ЛКП электролит может проходить из-за его диэлектрической проницаемости. Вследствие этого заводские защитные и лакокрасочные покрытия через определенный срок эксплуатации оборудования разрушаются, что требует периодического их восстановления.

Анализ априорной информации [128] позволяет сделать вывод, что вода и растворенные в ней коррозионно-агрессивные реагенты через слой защитной пленки достигают до поверхности металла в достаточном объеме и достаточно быстро. Разрушение пленки покрытия происходит не сразу, а по мере накопления продуктов коррозии.

Хронологию этого процесса можно представить в виде схемы (рисунок 2.8).

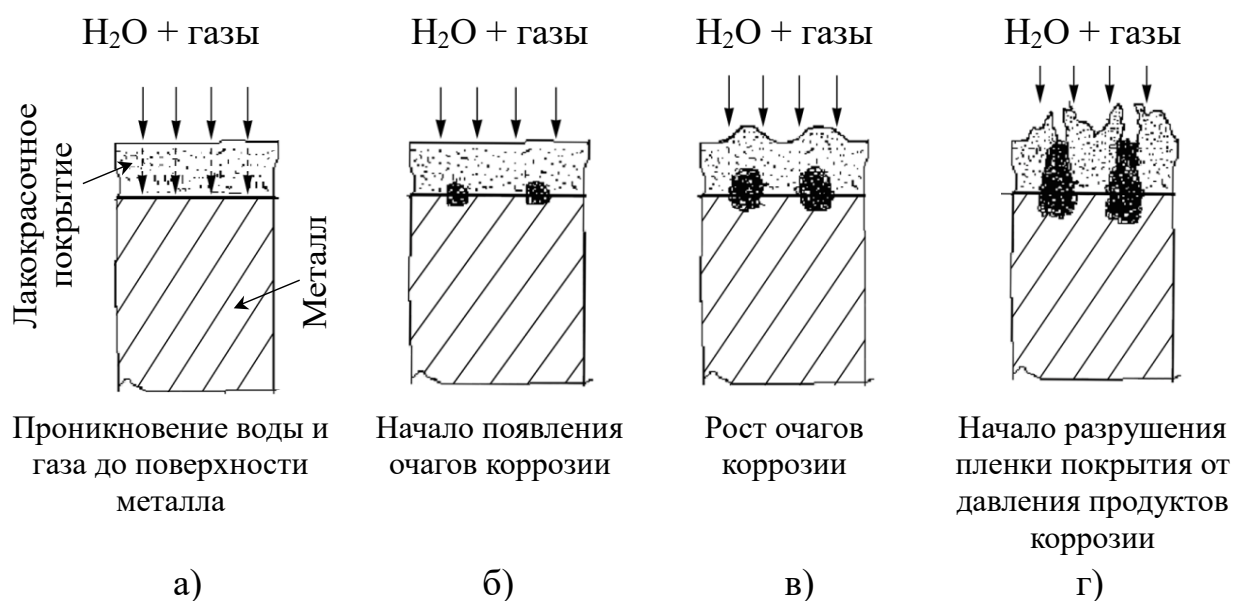


Рисунок 2.8 – Схема начала коррозионного процесса под защитной пленкой и разрушения защитной пленки [128]

При коррозии металла под защитной пленкой в силу взаимодействия загрязнений окружающей среды с компонентами железа формируются нерастворимые соединения Fe^{2+} и Fe^{3+} , которые закупоривают поры в покрытии, и коррозионный процесс будет протекать уже под защитной пленкой.

«Все защитные составы (ЛКМ, маслорастворимые и пластичные смазки, на основе восков) представляют собой пленкообразователи. Их наносят на поверхности изделий различными способами:

1. Пленкообразователь, представляющий капельную жидкость, может быть непосредственно нанесен на подложку распылением, наливом, окунанием и кистью, после чего превращен в сплошное покрытие (ЛКМ).

2. Пленкообразователь, представляющий собой пластичный состав, может быть непосредственно нанесен на подложку кистью или распылением после предварительного его разогрева, после чего при обычных температурах окружающей среды превращен в сплошную не высыхающую пленку (пластичная смазка ПВК);

3. Пленкообразователь может быть растворен в низкомолекулярной жидкости и в таком виде с помощью средств механизации или иным путем нанесен на подложку. Сплошная пленка формируется в процессе испарения растворителя (битумно-бензиновые растворы);

4. Пленкообразователи, нерастворимые или плохо растворимые, могут быть диспергированы и нанесены на поверхности защищаемых изделий. Формирование покрытия из такой дисперсии аналогично образованию пленки из жидкостного пленкообразователя, происходит за счет освобождения пленки от низкомолекулярной жидкости» [118].

«На практике идеально гладкие поверхности отсутствуют: на поверхности всегда имеется шероховатость (рисунок 2.4), во впадинах которых происходит поверхностная адсорбция паров воды и их капиллярная конденсация. Атмосферная коррозия начинается с конденсированной в капиллярах влаги, а не в молекулярной пленке влаги, обладающей высоким омическим сопротивлением» [118].

Следовательно, пленки защитных составов должны быть влаго- и воздухонепроницаемы, неэлектропроводны, негигроскопичны, обладать сопротивляемостью к проницаемости ионов металла, к воздействию химических реагентов.

На основании изложенного можно сформулировать требования, которым должны соответствовать защитные составы:

- а) высокая сплошность (отсутствие пор в структуре пленки);
- б) высокая сопротивляемость к диффузии влаги с коррозионно-агрессивными реагентами окружающей среды к подложке;
- в) способность к вытеснению влаги с растворенными в ней коррозионно-агрессивными реагентами из капилляров защищаемой поверхности металла;
- г) способность к смещению в область пассивации потенциала защищаемой металлической поверхности.

2.4 Коррозия в щелях и зазорах

Машины и оборудование ЖВК и ферм имеют большое количество мест соединения деталей. В этих местах образуются зазоры и щели (рисунок 2.9).

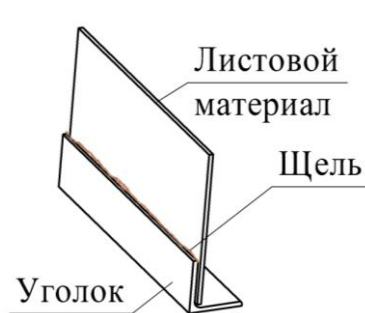


Рисунок 2.9 – Соединение листового материала с уголком

Щели образуются и при попадании пыли на поверхность металлов, в местах отслаивания ЛКП, обрастания конструкций различными микроорганизмами или технологическими остатками [134] (рисунок 2.10).

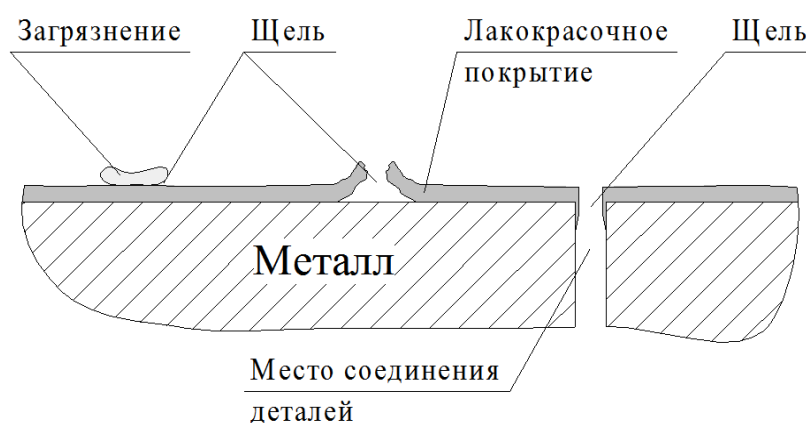


Рисунок 2.10 – Образование щели на поверхностях изделий

Щели образуются и на резьбовой части болта (рисунок 2.11) и в болтовых соединениях (рисунок 2.12).

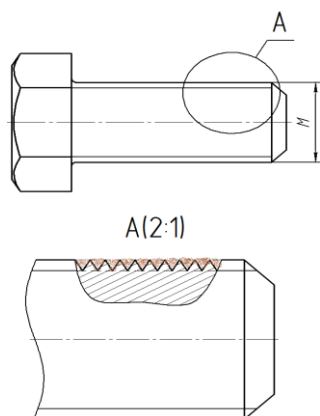


Рисунок 2.11 – Щели, образованные на резьбовой части болта

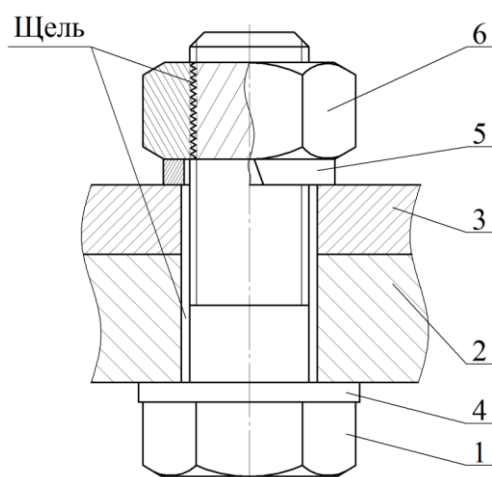


Рисунок 2.12 – Болтовое соединение двух деталей:

- 1 – болт;
- 2, 3 – соединяемые детали;
- 4 – шайба плоская;
- 5 – шайба пружинная;
- 6 – гайка.

Щели образуются и в местах сгиба деталей из листового материала (рисунок 2.13). Ослабление креплений, износ поверхностей при вибрации машин при их эксплуатации способствует изменению (в основном увеличению) размеров щелей.

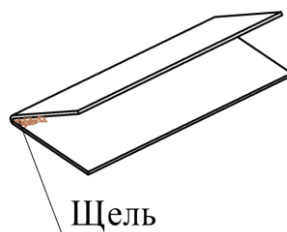


Рисунок 2.13 – Щель, образованная при сгибе листового материала

«Ни одно механическое соединение не может быть настолько плотным, чтобы его можно было считать цельным. Даже нарушение технологии сварочных работ может являться причиной появления коррозионных очагов, что ограничивает выполнение прерывистых швов» [118].

«Практика показывает, что в щелях процессы коррозии протекают интенсивнее, чем на открытой поверхности, вследствие наличия в них постоянной влаги, имеющей вогнутый мениск. Известно, что чем меньше радиус мениска жидкости, тем меньше будет упругость паров, находящихся в равновесии с жидкостью, т.е. в этом случае возможность конденсации паров на стенках щели намного выше при прочих равных условиях. К тому же затруднена интенсивность высыхания влаги из зазоров. Этому способствует также наличие в них технологических остатков, продуктов коррозии, пыли, освободиться от которых практически невозможно» [118].

2.5 Некоторые способы улучшения защитных свойств противокоррозионных составов

Использование ингибиторов (неорганических и органических) в составе коррозионной среды становится одним из наиболее распространенных способов улучшения защитных свойств противокоррозионных составов. Ингибиторы коррозии способствуют образованию на поверхности защищаемого металла неэлектропроводной пленки, что тормозит процессы коррозии.

При использовании противокоррозионных составов, имеющих одноименный с железом отрицательный электродный потенциал, однотипные заряды отталкиваются и на острых выступах деталей требуемая толщина пленки не обеспечивается. Для устранения этого недостатка нужно смещение потенциала состава в положительную или нейтральную зону, что решается введением в состав противокоррозионного материала ингибиторов коррозии.

Выбор ингибиторов проводится на основе изучения поляризационных кривых образцов с различными покрытиями, имеющих и не имеющих в своем составе ингибиторы. Поляризационные кривые получают с использованием потенциостата. Выбирают тот ингибитор, присутствие которого в составе противокоррозионного материала способствует смещению потенциала начала корродирования металла в более положительную зону (рисунок 2.14).

Анализируя кривые на рисунке 2.14 можно заключить, что наиболее предпочтительным является ингибитор 3 (кривая 3), так как он смещает

потенциал начала корродирования защищаемого металла в более положительную зону, что коррелирует с результатами работы [130].

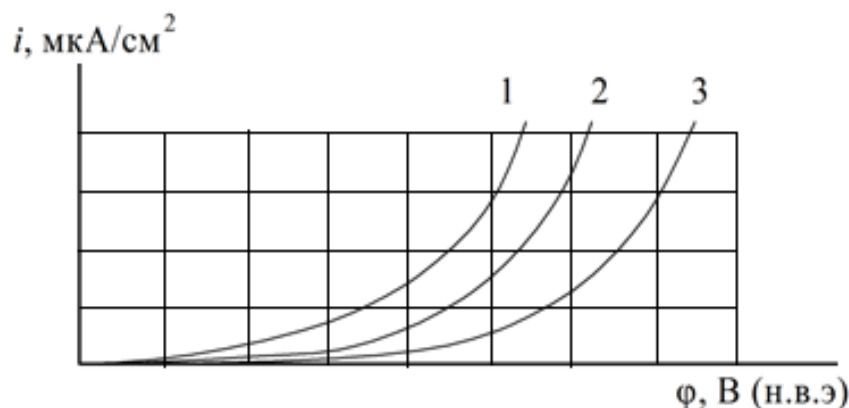


Рисунок 2.14 – Поляризационные кривые образцов с покрытиями, имеющими (кривые 2, и 3) и не имеющими (кривая 1) в своем составе ингибиторы

Наше предположение можно подтвердить результатами исследований в работе [128], где «проведены электрохимические исследования пленок битумного лака (контроль) и битумного лака с добавлением 5% по массе ингибированного маслорастворимого состава АКОР-1 (испытуемый вариант) в 3%-м растворе хлористого натрия со снятием зависимостей изменений силы тока и стационарного потенциала электродов с рабочей площадью 0,19 см² во времени» [128] (рисунки 2.15 и 2.16).

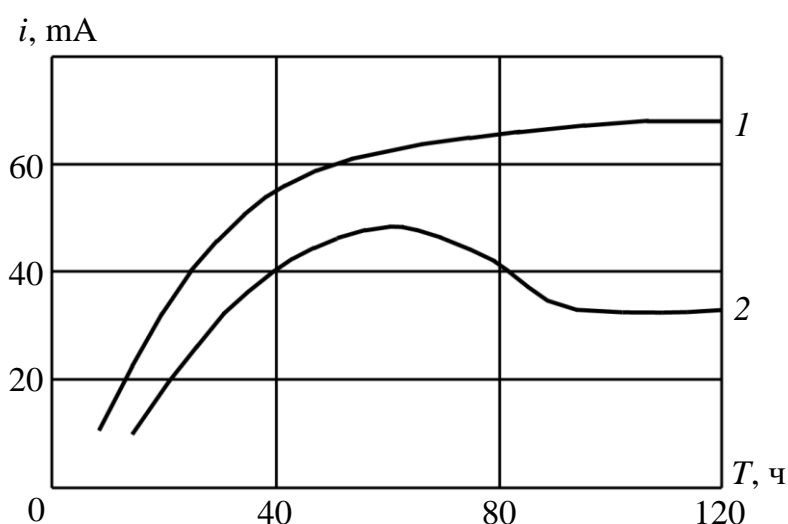


Рисунок 2.15 – Изменение силы тока в паре, образованной из изолированного битумными составами и неизолированного электродов из Ст3 во времени в 3 %-м растворе хлорида натрия: 1 – покрытие из чистого лака битумного; 2 – покрытие из лака битумного с добавлением 5% по массе ингибированного масла АКОР-1

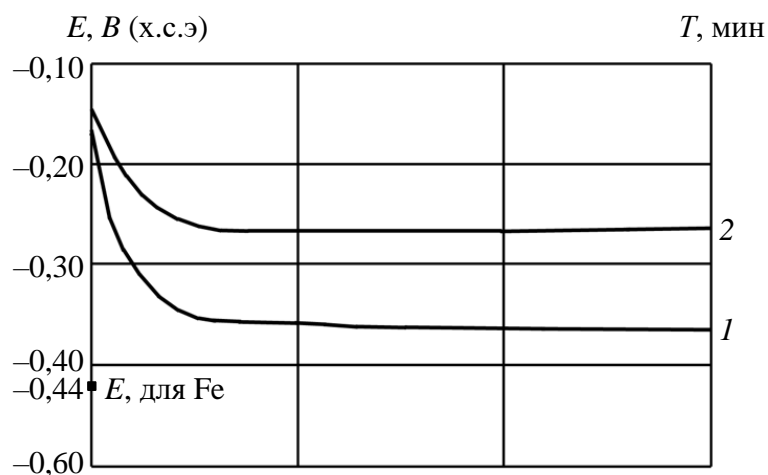


Рисунок 2.16 – Изменение стационарного потенциала Ст3, покрытой лаком битумным (1) и лаком битумным с добавкой 5 % по массе ингибированного лака битумного (2), во времени в 3 %-м растворе хлорида натрия

Результаты теоретических исследований процессов коррозии машин и оборудования ЖВК и ферм подтверждают требования к пленкам противокоррозионных составов, сформированные в первой главе.

2.6 Выводы по главе 2

1. Процесс коррозии черных металлов в условиях животноводческих помещений имеет электрохимический характер.
2. Маловероятно прямое химическое взаимодействие черных металлов с агрессивными составляющими атмосферы животноводческих помещений.
3. На поверхности деталей машин и оборудования животноводческих помещений могут проявляться все виды коррозионных разрушений, из которых наиболее опасными являются местная и щелевая коррозии.
4. На коррозию металлов влияет повышенная влажность воздуха, (90-95% в осенне-зимнее время), наличие в атмосфере помещений значительных концентраций вредных составляющих: аммиака до 41 мг/м^3 , углекислого газа до 0,36 %, сероводорода до 9 мг/м^3 , сернистого ангидрида до 9 мг/м^3 .
5. Основным способом защиты металла от коррозии является изоляция их поверхностей от агрессивной атмосферы помещений применением ЛКМ.
6. Смещение потенциала начала корродирования защищаемого металла в более положительную зону обеспечивается введением в коррозионную среду ингибиторов коррозии.

3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Обоснование цели и задач исследований

По данным литературного обзора и теоретических исследований установлено, что проблема защиты металлической поверхности машин и оборудования ЖВК и ферм является острой во всей системе АПК. В связи с этим целью исследования принята разработка способа повышения коррозионной стойкости деталей машин и оборудования ЖВК к воздействию агрессивных компонентов атмосферы помещения и технологических остатков.

Необходимо учесть, что машины и оборудование животноводства обслуживаются по планово-предупредительной системе ТО и ТР. По этой причине включение операций защиты от коррозии деталей машин в перечень технологического процесса ТО и ТР является обязательным.

Основной способ защиты машин от коррозии является применение надежных защитных и ЛКП с более полной механизацией труда, в частности при их нанесении на поверхность изделий. При этом пленки составов должны иметь низкое влагопоглощение, образовывать на границе с подложкой хемосорбционный слой, а также должны быть водонерастворимой и прочной, препятствовать диффундированию влаги и агрессивных составляющих к поверхности металла. Средства для нанесения составов, в частности пневмокраскораспылители, должны быть удобными, надежными в работе при нанесении составов во всех плоскостях (горизонтальном, вертикальном, в наклонном и иных положениях), иметь повышенную производительность труда и экономно расходовать материалы.

Цель исследования настоящей работы можно сформулировать следующим образом: повышение коррозионной стойкости деталей машин и технологического оборудования ЖВК.

Задачи:

– проанализировать факторы, способствующие коррозии деталей машин и технологического оборудования ЖВК, способов их защиты при эксплуатации.

– выявить наиболее коррозионно-активные компоненты атмосферы помещений и кормовых остатков, влияющие на коррозию деталей машин и технологического оборудования ЖВК.

– разработать способ повышения стойкости деталей машин и технологического оборудования ЖВК к воздействию агрессивных компонентов атмосферы помещений и кормовых остатков.

– произвести технико-экономический анализ результатов исследований.

Для достижения цели и решения задач составлены последовательность (рисунок 3.1) и общая методика исследований (Приложение А, рисунок А1), включающие частные методики, проведены соответствующие лабораторные исследования и проверка их результатов в производственных условиях.

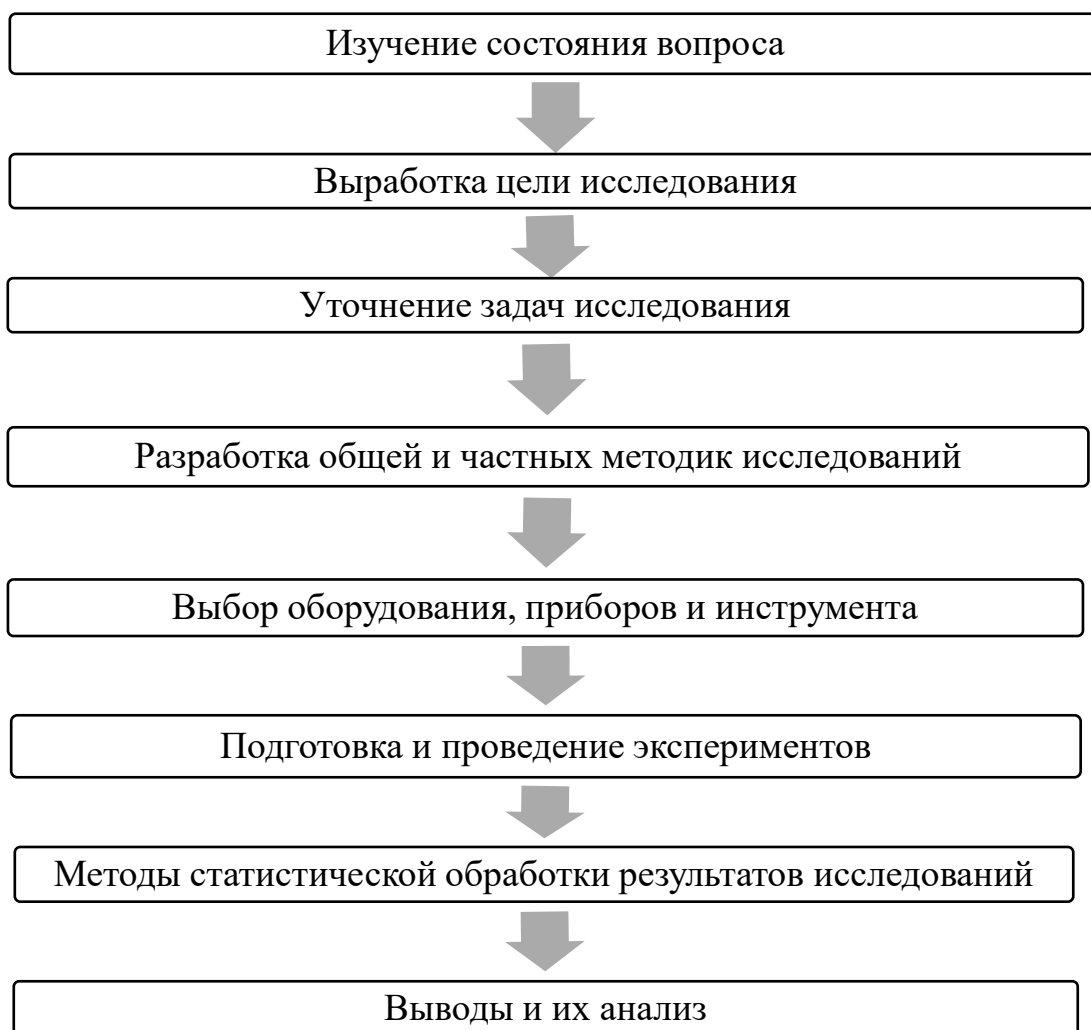


Рисунок 3.1 – Последовательность исследований

3.2 Подготовка образцов и коррозионных сред

Образцы изготавливались из листового проката разрезкой на гильотинных ножницах. Размеры образцов – 30×100×2 мм. На расстоянии 10 мм от одного конца просверлили отверстие диаметром 5 мм для подвешивания их в исследуемых средах (рисунок 3.2).

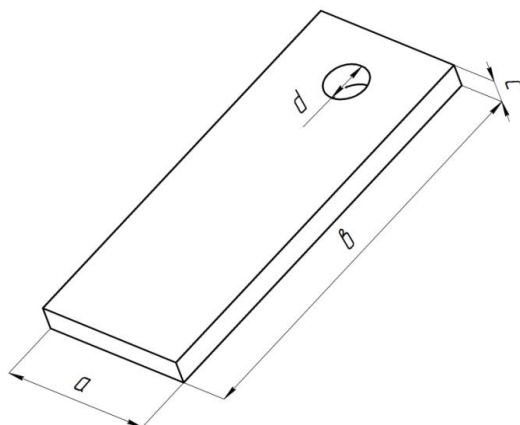


Рисунок 3.2 – Схема образца

Образцы очищали от загрязнений, заусенцев, окалины и первичных продуктов коррозии. Для небольшой партии работа выполнялась вручную, а при массовой необходимости – электрохимическим методом в специальных растворах (таблица 3.1, 3.2, 3.3) [37].

Таблица 3.1 – Водные растворы для удаления продуктов коррозии

№ электролита	Раствор		Режим обработки	
	Компоненты	Концентрация, г/дм ³	Температура, °С	Продолжительность, мин
1	Кислота соляная плотностью 1,19	10	20-25	1-5
	Окись сурьмы	20		
	Олово двухвалентное	50		
	Вода дистиллированная	остальное		
2	Кислота серная	10	20-25	1-5
	Гномочевина	0,3		
	Вода дистиллированная	остальное		

Затем они «обезжиривались в ацетоне с последующей выдержкой в эксикаторе с силикагелем в течение 30 мин, измерялись размеры с помощью штангенциркуля с нониусом деления 0,1 мм (относительная погрешность измерений по ширине образцов $0,1/30 \cdot 100 \% = 0,33 \%$, и по длине – $0,1/100 \cdot 100 \% = 0,1 \%$, где 0,1 – абсолютная погрешность штангенциркуля), взвешивались на аналитических весах ВЛА-200 г-М» [128] (относительная погрешность $0,0005/47 \cdot 100 \% = 0,001 \%$, где 47 – средняя масса образцов, г; 0,0005 мг – точность, т. е абсолютная ошибка электронных весов).

Таблица 3.2 – Состав электролита для электрохимического обезжиривания поверхности образцов, г/л

Компоненты	Электролит	
	№1	№2
Гидроокись натрия	40-50	20-30
Карбонат натрия	60-70	20-30
Ортофосфорная кислота	10-15	30-50
Метасиликат натрия	2-5	5-10
ОП-7	–	3-5

Таблица 3.3 – Режим электрохимического обезжиривания поверхностей образцов

Наименование	Электролит	
	№1	№2
Температура электролита, °С	70-80	60-70
Плотность тока, А/дм ²	3-10	5-10
Продолжительность, мин	3-5	5-10
Периодичность тока: анодного: катодного	2 : 0,5	2 : 0,5

В качестве коррозионных сред использовали водные растворы хлорида натрия (контрольный фон) и растворы комбикормов, воздушная среда помещений и электролит, имитирующий количественно наличие вредных газов атмосферы. В качестве защитных составов испытывались битумно-бензиновые смеси и их улучшенные составы добавлением маслорастворимых ингибированных присадок АКОР-1 и НГ-203, олигоэфируретандиметакрилата Д-10ТМ.

Компоненты коррозионной среды, моделирующей атмосферу помещений, составлялись водными растворами соответствующих химических соединений (таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Растворы для моделирования атмосферы животноводческих помещений

Компоненты коррозионной среды, моделирующей атмосферу помещений	Химическое соединение
Сероводород	Водный раствор H_2S
Сернистый ангидрид	Водный раствор Na_2SO_3
Углекислый газ	Водный раствор Na_2CO_3
Аммиак	Аммиачная вода NH_4OH

3.3 Методика определения коррозионных потерь образцов в электролитах

Исследования проводились в лабораторных условиях при комнатной температуре сред (+14...+16°C). После нумерации, измерения размеров и обезжиривания поверхностей образцы взвешивали на аналитических весах ВЛА-200Г-М с точностью до 0,0005 г. В термостойкие химические стаканы наливали соответствующие электролиты, помещали и выдерживались образцы в соответствии с программой исследований.

После истечения срока экспозиции образцы вынимались из электролитов, промывались в проточной воде, вытирались чистой тряпкой, сушились фильтровальной бумагой и взвешивались на аналитических весах. Результаты замеров заносились в лабораторный журнал (таблица 3.5).

Площадь образца определяли по выражению [128]:

$$P = 2[(a + b)b + ac] - \pi d^2/2 + \pi dc \quad (3.1)$$

Вычисление коррозионных потерь проводилось по выражению:

$$K = \frac{M_1 - M_2}{P \cdot T} \cdot 10000 \cdot 8760, \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}, \quad (3.2)$$

где M_1, M_2 – масса образца до и после испытаний, г;

P – площадь образца, см²;

T – продолжительность экспозиции, ч;

10000 – коэффициент перевода квадратного метра в квадратные сантиметры;

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

Таблица 3.5 – Форма записи в журнале

Дата «__» _____ 20__ г. Коррозионная среда _____

Время начала _____

Продолжительность эксперимента ____

Цель эксперимента _____

№ образца	Линейные размеры образца					Масса образца, г		Коррозионные потери образца, г/м ² в пересчете на год
	a , см	b , см	c , см	d , см	Π , см ²	до испытания, M_1	после испытания, M_2	

Примечание. В таблице 3.5 приняты следующие обозначения (см. рисунок 3.2) a , b , c – ширина, длина и толщина образца, см; d – диаметр отверстия для подвешивания его в электролитах, см.

После подстановки выражения (3.7) в (3.8) получим:

$$K = \frac{M_1 - M_2}{2[ab + (a+b)c] - \frac{\pi d^2}{2} + \pi dc} \cdot 10000 \cdot 8760, \text{ г/м}^2 \cdot \text{год} \quad (3.3)$$

3.4 Методика исследования физико-механических и противокоррозионных свойств защитного покрытия

Испытывались защитные покрытия на основе битума.

Сформулированные в выводах по главе 1 требования к защитным покрытиям являются универсальными и, используя их, можно оценить все покрытия, применяемые для защиты металлической поверхности от коррозии. На основании этих требований можно определить оценочные показатели защитных покрытий [119, 128]:

- срок защитного действия покрытия по результатам длительных испытаний;
- прочность при ударе (на приборе УДА по ГОСТ 4765-73);
- износостойкость защитного покрытия (на специальной установке);

- прочность на изгиб (на шкале гибкости ШГ по ГОСТ 6206-73);
- оценка декоративных свойств (визуально по ГОСТ 6942-68);
- оценка противокоррозионной защиты (степени защиты, %)

гравиметрическим методом;

- величина эластичности по ГОСТ 29309-99;
- адгезия к подложке (по методу решетки по ГОСТ 15150-78);
- водопроницаемость (с помощью дефектоскопа ЛКД);
- солестойкость (лабораторным методом);
- бензостойкость (лабораторным методом);
- электрохимические свойства (с помощью потенциостата П-5848).

Исследования составов проводились в условиях лаборатории и на производстве.

Результаты заносились в специальный журнал (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Форма записи результатов экспериментов

Условия экспериментов	Дата и время начала _____		
	Дата и время завершения _____		
	Вид покрытия _____		
	Место проведения _____		
Наименование условия	№ образцов		
	1	2	...
Размеры образцов, см: Ширина, <i>a</i> Длина, <i>b</i> Толщина, <i>c</i> диаметр отверстия, <i>d</i>			
Масса образца, г: без покрытия с покрытием			
Масса образца после удаления покрытия и продуктов коррозии			
Вид разрушения покрытия, размер повреждения: изменение цвета пузыри, кратеры, см ² отслоение, см ² коррозия образца, см ²			

Таблица 3.7 – Относительная оценка степени разрушения при определении противокоррозионных свойств покрытий

Условное обозначение степени разрушения	Меление при визуальном осмотре; число отпечатков	Растрескивание, пузыри, отслаивание, % (разрушенная площадь)	Коррозия, % (разрушенная площадь)	Относительная оценка
1	Отсутствует	0	0	1,0
2	Едва заметное, до 3	До 5	До 5	0,8
3	Едва заметное, до 5	До 25	До 10	0,4
4	Среднее, до 10	До 50	До 25	0,2
5	Сильное, свыше 10	Свыше 50	Свыше 25	0

Таблица 3.8 – Относительная оценка противокоррозионных свойств покрытий по размерам и глубине повреждений

Условное обозначение степени разрушения	Пузыри и коррозия		Растрескивание и отслаивание	
	диаметр, мкм	относительная оценка,	глубина повреждения	относительная оценка
1	0	1,0	Отсутствует	1,0
2	До 0,5	0,9	Поверхностная сетка, видимая при увеличении (×4)	0,9
3	До 1,0	0,7	Поверхностная сетка, видимая невооруженным глазом	0,7
4	До 3,0	0,3	До грунта	0,3
5	Свыше 3,0	0	До металла	0

Определение влагоемкости покрытий проводилось по методике, приведенной в [128]. Влагопоглощение определяли по формуле [128]:

$$B = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \cdot 100\%, \quad (3.4)$$

где M_1, M_2 – массы образцов до и после эксперимента, г.

Для оценки состояния покрытия применяли показатели, приведенные в таблице 3.9.




Таблица 3.9 – Влагостойкость покрытия

Продолжительность эксперимента, ч	Изменения качества покрытия					Состояние металла под пленкой	Оценка покрытия
	Цвет, блеск	Пузыри		Отслаивание			
		площадь, %	размер, мм	площадь, %	размер, мм		
0							
24							
72							
120							
240							

Примечание. Размеры пузырей и отслаивание покрытий принимали в расчет при величине 3 и более мм.

Оценка адгезии покрытий к подложке производилась использованием метода решетчатых надрезов через каждые 1 мм во взаимно-перпендикулярных направлениях, выполняемых с помощью канцелярского ножа (таблица 3.10). Затем разрушение пленки в полученных надрезами квадратах оценивали в баллах.

Таблица 3.10 – Шкала оценки адгезии покрытия

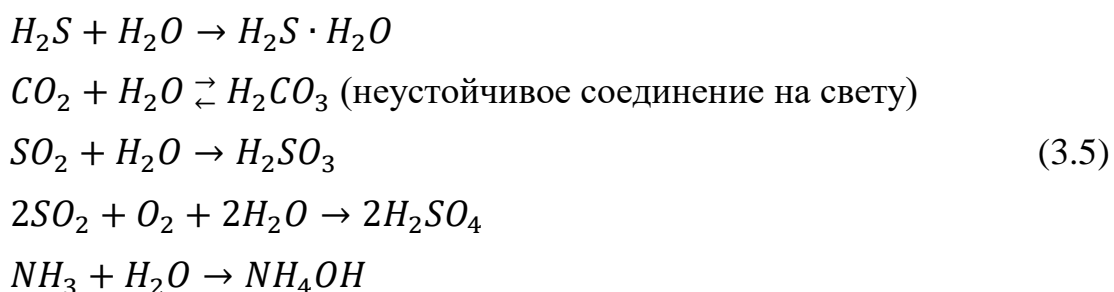
Характеристика покрытия	Оценка	
	визуальная	в баллах
Края надрезов гладкие; отслаивание квадратов не наблюдается		1
Незначительное отслаивание покрытия (до 5 % площади решетки)		2
Частичное отслаивание покрытия (до 35 % площади решетки)		3
Полное или частичное отслаивание покрытия (более 35 % площади решетки)		4

3.5 Методика определения влияния агрессивных составляющих атмосферы животноводческих комплексов и ферм на коррозию деталей машин и оборудования

При разработке мер защиты от коррозии машин и оборудования, эксплуатируемых в ЖВК и фермах необходимо учитывать агрессивную среду атмосферного воздуха, основными компонентами которого, по данным

различных литературных источников и публикаций в научных трудах, признаны аммиак, углекислый газ, сероводород и сернистый ангидрид.

Практика показывает, что искусственная вентиляция помещений работает только в дневное время не более чем 1-2 часа. Поэтому характер изменения концентрации этих газов и относительной влажности воздуха в течение суток незначительны. Контрольные замеры относительной влажности воздуха показали, что в осенне-зимние периоды она колеблется в пределах 85-95%. На поверхностях металлоизделий во многих местах адсорбированная из воздуха пленка влаги в первом приближении может быть представлена в виде слоя конденсата. В нем легко растворяются коррозионно-активные газы по следующим схемам:



Они могут оказывать незначительное влияние на химическое растворение материалов машин и оборудования, но в большей степени способствуют возникновению активного электролита, способствующего электрохимической коррозии машин как по отдельности, так и при различных сочетаниях. Поэтому, при изучении механизма коррозии металлов и степени влияния различных составляющих атмосферы ЖВК и ферм можно моделировать ряд вариантов экспериментов в водных растворах этих газов. Для этого предпочтительнее в исследованиях использовать метод полного факторного эксперимента плана $N=2^i$, или математическим методом планирования экспериментов, где i – количество факторов [118].

Полный факторный эксперимент предусматривает получение нескольких серий (в каждом варианте опыта должны быть не менее трех параллельных выходов $m=3$) при различных значениях по величине варьирования переменных. Следовательно, предварительно необходимо составить матрицу планирования.

В таблице 3.11 приведена общая схема матрицы планирования полного факторного эксперимента $N=2^4$.

Таблица 3.11 – Матрица планирования при $N=2^4$

Наименование		Значения переменных			
		x_1	x_2	x_3	x_4
Основной уровень	0_{xi}	0_{x1}	0_{x2}	0_{x3}	0_{x4}
Интервал варьирования	λ_i	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4
Верхний уровень «+»	+1	$0_{x1}+\lambda_1$	$0_{x2}+\lambda_2$	$0_{x3}+\lambda_3$	$0_{x4}+\lambda_4$
Нижний уровень «-»	-1	$0_{x1}-\lambda_1$	$0_{x2}-\lambda_2$	$0_{x3}-\lambda_3$	$0_{x4}-\lambda_4$

В качестве выхода в данной работе приняты коррозионные потери образцов, пересчитанные на год. Форма записи в журнале приведена в таблице 3.12 и Приложении А, таблице А1.

Таблица 3.12 – Планирование многофакторного эксперимента

№ п/п	№ образца	Линейные размеры, мм			Площадь поверхности, см ²	Масса образцов, г		Коррозионные потери в расчете на год, г/м ²
		ширина	длина	толщина		До эксперимента	После эксперимента	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Условия планирования экспериментов:

- учет влияния действующих на происходящие процессы факторов;
- основной уровень факторов в принципе можно брать любым, но желательно при этом его значение приблизить к области оптимального значения;
- продолжительность экспериментов должна быть оптимальной, чтобы выяснить действие всех факторов. При большой длительности наиболее активный из них может подавить действие других.

Результатом обработки результатов эксперимента является уравнение регрессии в виде:

$$\begin{aligned}
 Y = & b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1 x_2 + b_{13}x_1 x_3 + \\
 & + b_{14}x_1 x_4 + b_{23}x_2 x_3 + b_{24}x_2 x_4 + b_{34}x_3 x_4 + b_{123}x_1 x_2 x_3 + \\
 & + b_{124}x_1 x_2 x_4 + b_{134}x_1 x_3 x_4 + b_{234}x_2 x_3 x_4 + b_{1234}x_1 x_2 x_3 x_4,
 \end{aligned}
 \tag{3.6}$$

где x_1, x_2, x_3, x_4 – кодированные обозначения факторов;

Y – выходной параметр изучаемого процесса;

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{23}, b_{24}, b_{34}, b_{123}, b_{124}, b_{134}, b_{234}, b_{1234}$ – коэффициенты исходного уравнения регрессии.

Примечание. Данный метод планирования применяется в двух случаях:

- при определении влияния факторов на происходящий процесс (для рассматриваемого случая). При этом основные уровни принимаются произвольно, но желательно их принимать близко к средним действительным значениям, позволяющим получить некоторый разброс построчных выходов;
- для оптимизации процесса, т.е. для отыскания рациональных значений факторов (в наших исследованиях не требуется), т.к. оптимизация степени коррозии представляет из себя полное ее подавление или исключение.

3.6 Методика электрохимических исследований коррозии материалов машин и оборудования животноводства

Электрохимические исследования коррозии материалов машин и оборудования животноводства проводили с использованием потенциостата П-5848, с помощью которого снимались зависимости изменения электродного потенциала φ во времени T , которое описывает состояние металла в коррозионной среде:

$$\varphi = f(T) \quad (3.7)$$

«Анодное поведение материалов машин и оборудования в электролитах исследовалось методом снятия поляризационных кривых «плотность тока – напряжение поляризации» $i = f(\varphi)$ со скоростью развертки потенциала 0,5 мВ/с на электродах, изготовленных изоляцией нерабочих поверхностей эпоксидной смолой» [118].

Принципиальная схема потенциостата П-5848, приведенная в [86], представлена на рисунке 3.3.

«Рабочий и вспомогательный (платиновая проволока) электроды, а также электрод сравнения (хлорсеребряный) помещают в электрохимическую ячейку ЯСЭ, выплавленную из термостойкого стекла, выдерживающего различную температуру коррозионной среды. При необходимости перемешивание

растворов (условие частичной аэрации) в ячейке осуществляется магнитной мешалкой, помещаемой в ячейку.

Ток и потенциал электрода регистрируется электрическим потенциометром КСП-4, а для текущего контроля их величин используются дополнительные миллиамперметр и милливольтметр» [118].

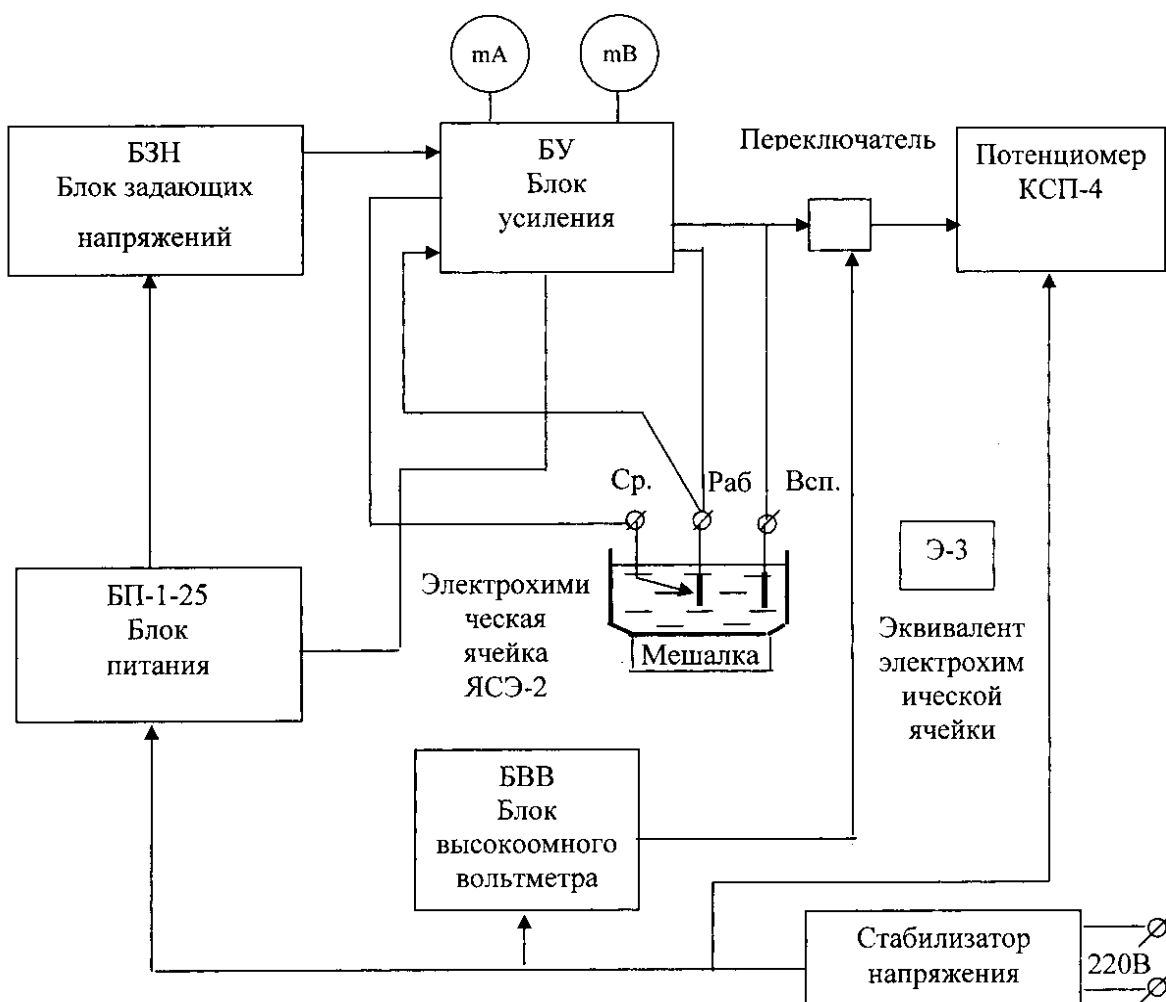


Рисунок 3.3 – Принципиальная схема потенциостата П-5848

Потенциал электрода сравнения, в качестве которого использовали хлорсеребряный электрод типа ЭВЛ-1-М3, равен +0,201В.

3.7 Методика статистической обработки результатов экспериментов

Любые результаты экспериментов требуют статистической обработки и анализа. При статистической обработке необходимо получить степень связи между переменными (корреляционный анализ) и регрессионные связи (уравнение регрессии между переменными) [1].

Количество параллельных образцов или опытов в экспериментах обосновано по следующей методике.

Пусть дан вариационный ряд:

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_{n-1}, x_n \quad (3.8)$$

В первую очередь требуется оценить принадлежность всех членов к совокупности. Это производится с помощью критерия τ [13, 110] после ранжирования ряда по возрастающему или убывающему признаку:

для левого члена:

$$\tau = \frac{x_2 - x_1}{x_n - x_1} \leq \tau_{\text{табл}}(p=0,05;n) \quad (3.9)$$

для правого члена:

$$\tau = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_1} \leq \tau_{\text{табл}}(p=0,05;n) \quad (3.10)$$

где $x_{n-1} - x_1 = R$ – размах ряда (3.11)

p – уровень значимости (вероятности), по которому судят о принадлежности члена к совокупности или отвергается.

Последовательность расчета статистических характеристик остаточного вариационного ряда описана в [128] и включает определение средней арифметической, дисперсии, среднеквадратического отклонения, коэффициента вариации, ошибки средней арифметической, относительной ошибки средней арифметической, числа степеней свободы.

Количество параллельных опытов определяли по выражению [128]:

$$N = \frac{t^2 \cdot \vartheta^2}{\varepsilon^2} = \frac{1,96^2 \cdot \vartheta^2}{\varepsilon^2}, \quad (3.12)$$

где $t=1,96$ при уровне значимости $p=0,05$;

ε – относительная ошибка эксперимента (обычно принимается на уровне 3, 5, 7 или 10%).

На основании экспериментальных данных с помощью уравнения регрессии (3.19) описывали процесс коррозии опытных образцов [128].

$$Y=f(x_1; x_2; x_3; \dots; x_n), \quad (3.13)$$

где x_i – изучаемые факторы, т.е. независимые переменные;

Y – выход или зависимая переменная.

Для получения кривой, описывающей процесс коррозии образцов, в случае однофакторного эксперимента строили точечный график и подбирали тип линейной или криволинейной зависимости, вычисляя коэффициенты линейной корреляции или величины корреляционного отношения.

Прямолинейная корреляция. Для прямолинейной корреляции принимается уравнение вида [128]:

$$y = a + bx, \quad (3.14)$$

где a, b – коэффициенты уравнения регрессии.

Для подтверждения объективности получения прямолинейной регрессии рассчитывали коэффициент корреляции (3.21), его ошибку (3.22) и критерий существенности (3.23) по выражениям, приведенным в [128]:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}) \cdot (x_i - \bar{x})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (3.15)$$

$$S_r = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}} \quad (3.16)$$

$$t_p = \frac{r}{S_r} > t_{(p=0.05; \nu=n-2)}, \quad (3.17)$$

где p – принятый уровень достоверности суждения о наличии корреляционной связи между переменными x и y ;

$\nu = n-2$ – число степеней свободы;

t – значение t -критерия Стьюдента.

«При наличии прямолинейной корреляции, используя метод наименьших квадратов, составляется система нормальных уравнений для вычисления искоемых параметров « a » и « b » аппроксимирующей зависимости» [128] (корреляционный анализ):

$$\begin{cases} na + b \sum x_i = \sum y_i \\ a \sum x_i + b \sum x_i^2 = \sum x_i y_i \end{cases}, \quad (3.18)$$

откуда:

$$a = \frac{\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n y_i & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum x_i y_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 \end{vmatrix}}{D}, \quad b = \frac{\begin{vmatrix} n & \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{vmatrix}}{D}, \quad (3.19)$$

где дискриминант:

$$D = \begin{vmatrix} n & \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 \end{vmatrix}, \quad (3.20)$$

Доверительный интервал уравнения регрессии:

$$S_{y/x} = \pm S_r \cdot t_p. \quad (3.21)$$

Статистическая обработка результатов прямолинейной регрессии лучше производить на ЭВМ по специально разработанной программе.

Криволинейная регрессия. Коррозия металлов в основном описывается уравнением степенной (криволинейной) зависимости вида [128]:

$$K = aT^b, \quad (3.22)$$

где K – коррозионные потери во времени ($\text{г/м}^2 \cdot \text{ч}$, $\text{г/м}^2 \cdot \text{год}$);

T – продолжительность экспозиции (ч; год);

a, b – независимые коэффициенты.

В таком случае уравнение степенной (криволинейной) зависимости необходимо преобразовать в прямолинейную зависимость. Для этого можно использовать логарифмирование, что приведено в [128]:

$$\lg K = \lg a + b \lg T \quad (3.23)$$

или

$$\ln K = \ln a + b \ln T. \quad (3.24)$$

«По полученному уравнению регрессии вычисляют значения выходов в точках эксперимента в виде \hat{y}_i или $\hat{\zeta}_i$. Правильность общих вычислений можно производить по критерию χ^2 -Пирсона с оценкой в последующем по правилу Романовского или неравенством» [128]:

$$\chi^2 = \sum \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{y_i}, \quad (3.25)$$

$$\frac{|1 - \chi^2|}{\sqrt{2\nu}} \leq 3, \quad (3.26)$$

$$\sum_{i=1}^n y_i = \sum_{i=1}^n \hat{y}_i, \quad (3.27)$$

$$\sum_{i=1}^n k_i = \sum_{i=1}^n \hat{k}_j. \quad (3.28)$$

где \hat{y}_i, \hat{k}_j – значение выходов по точкам экспериментов, рассчитанным по полученным уравнениям регрессии.

В соответствии с количеством факторов исследования зависимостей можно принимать *полный факторный эксперимент плана* $N = 2^4$. Например, он может быть применен при изучении влияния загрязнений атмосферы животноводческих помещений на коррозию стали Ст3. В этом случае отклик выражается зависимостью (3.14):

Воспроизводимость экспериментов устанавливали по экспериментальным данным (Приложение А, таблица А1), используя критерий Кохрена, расчетное значение которого сравнивали с табличным значением:

$$G_p = \frac{\max S_j^2}{\sum S_j^2} < G_{\text{табл}}(\gamma; N; \nu = m - 1) \quad (3.29)$$

При соблюдении приведенного условия определяли значения коэффициентов уравнения зависимости.

Некоторые коэффициенты имеют маленькие значения и они настолько уменьшают влияние переменных при них на процесс коррозии, что их можно исключить из искомого уравнения [13, 110]. В связи с этим требуется статистическая обработка уравнения, последовательность которой подробно приведена в [128] и предусматривает определения дисперсии воспроизводимости, дисперсии среднего значения, дисперсии коэффициентов регрессии, ошибки коэффициентов регрессии.

Оценку значимости коэффициентов регрессии выполняли по неравенству:

$$b_i > S\{b_i\} \cdot t_\gamma(\nu), \quad (3.30)$$

незначимые коэффициенты исключаются из уравнения регрессии;

Проверку адекватности осуществляли с помощью критерия Фишера по формуле:

$$F_{\text{расч}} = \frac{\max(S_{\text{ад}}^2; S^2[Y])}{\min(S_{\text{ад}}^2; S^2[Y])}, \quad (3.31)$$

где $S_{ад}^2 = \frac{1}{N-B} \sum (\bar{y}_j - \hat{y}_j)^2$ – критерий адекватности остаточного уравнения регрессии;

где \hat{y}_j – значения выходов по вариантам, полученные при решении выходов по остаточному уравнению по вариантам;

ν_1 – число степеней свободы для числителя вычисляется по формуле:

$$\nu_1 = B - 1 \quad (3.32)$$

ν_2 – число степеней свободы, для которой определялась дисперсия воспроизводимости:

$$\nu_2 = N(m - 1) \quad (3.33)$$

Если $F_{расч} < F_{табл}$, то можно смело говорить об адекватности полученного уравнения регрессии первоначальному.

Для расчетов необходимо составить расчетную вспомогательную таблицу 3.13.

Таблица 3.13 – Расчет $\sum (y_j - \hat{y}_j)^2$

№	y_j	\hat{y}_j	$\bar{y}_j - \hat{y}_j$	$(\bar{y}_j - \hat{y}_j)^2$
1				
2				
3				
...				
N				

$$\sum (y_j - \hat{y}_j)^2$$

3.8 Выводы по разделу 3

1. Общая и частная методики исследований коррозии и защиты от нее машин и оборудования разработаны на общих положениях аналогичных работ, разработанных в ведущих институтах страны.

2. Методика статистической обработки полученных результатов базируется на корреляционном и регрессионном анализе. Зависимости между переменными рассчитывали методом наименьших квадратов, используя критерий τ для оценки принадлежности членов вариационного ряда к совокупности, учитывали критерий Кохрена для оценки однородности экспериментов, t – критерия Стьюдента, правила Романовского и F -критерий Фишера для определения адекватности конечных уравнений первоначальным.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Обоснование количества параллельных опытов

Ранее приведена формула для определения количества параллельных экспериментов, которую можно положить в основу обоснования минимального потребного их количества для получения одной точки экспериментов (любой опыт имеет вероятностный характер, что необходимо учитывать в планах работы):

$$N = \frac{t^2 \cdot \vartheta^2}{\varepsilon^2}, \quad (4.1)$$

где t – величина нормированного отклонения (при законе нормального распределения и значимости $p=0,05$; $t=1,96$);

ϑ – коэффициент вариации совокупности;

ε – принятая величина относительной ошибки.

«Для определения меры изменчивости признака, т.е. величины коэффициента вариации, по которому выбирается тип закона распределения случайной величины, были поставлены эксперименты в 3%-м растворе хлорида натрия на образцах размерами $30 \times 100 \times 2$ мм из стали Ст3» [128]. Использовали водопроводную воду при температуре $+14 \dots +16^\circ\text{C}$, продолжительность эксперимента 48 ч, количество образцов 28 (обосновано таблицей случайных чисел). Полученные результаты пересчитаны на $\text{г}/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ (Приложение А, таблица А2).

Вычисление статистических характеристик можно выполнить как для большой совокупности, т.к. число членов ряда соответствует условию $n > (20-26)$ [13, 110].

При статистической обработке совокупности ранжирование членов полученного вариационного ряда, установление «сомнительных» дат и проверка их на возможность выпадения, как ошибки экспериментов или измерений, не требуется.

$$\text{Размах ряда: } R = x_{\max} - x_{\min} = 477 - 377 = 100 \text{ г}/\text{м}^2 \cdot \text{год} \quad (4.2)$$

Число классов для группировки членов ряда устанавливается по формуле Стеджерса:

$$j = 1 + 3,322 \lg n = 1 + 3,322 \lg 28 = 5,80 \approx 6 \quad (4.3)$$

При этом ширина интервала классов составит:

$$C = \frac{R}{j} = \frac{100}{6} = 16,6 \approx 17 \quad (4.4)$$

Условие правильности округления значения ширины интервала соблюдается: $j \cdot C - R < C$, т.е $6 \cdot 17 - 100 = 2 < 17$ (4.5)

Левая граница первого класса будет (таблица 4.1):

$$x_{1л} = x_{min} - \frac{j \cdot C - R}{2} = 377 - \frac{17 \cdot 6 - 100}{2} = 375 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год} \quad (4.6)$$

Таблица 4.1 – Разноска членов ряда по классам

Классы	Ширина классов «от... до... включительно»	Середина классов K_j	Разноска частот по методу «штрихов»	Частота по классам m_i
1	375...392	383,5		4
2	392...409	400,5		4
3	409...426	417,5		2
4	426...443	434,5		6
5	443...460	451,5		6
6	460...477	468,5		6
				$\sum m_i = 28$

Вычисление статистических характеристик проведем по способу сумм [110]:

– средняя арифметическая совокупности: $\bar{K} = A - \frac{C \cdot S_1}{n}$; (4.7)

– среднеквадратическое отклонение ряда: $S = C \sqrt{\frac{S_2 - \frac{S_1^2}{n}}{n-1}}$; (4.8)

где $S_1 = \alpha_1 - \beta_1$, $S_2 = \alpha_1 + \beta_1 + 2\alpha_2 + 2\beta_2$ (4.9)

где A – условная средняя, равная срединному значению интервала класса, где наибольшая частота (примем $A = 434,5 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}$).

$$S_1 = \alpha_1 - \beta_1 = 10 - 18 = -8 \quad (4.10)$$

$$S_2 = \alpha_1 + \beta_1 + 2\alpha_2 + 2\beta_2 = 10 + 18 + 32 + 12 = 72 \quad (4.11)$$

Таблица 4.2 – Промежуточные вычисления

Классы	K_i	m_i	$\alpha_1 = 10$	$\alpha_2 = 16$
1	383,5	4	4	4
2	400,5	4	8	12
3	417,5	2	10	-
4	434,5	6	-	-
5	451,5	6	12	-
6	468,5	6	6	6
			$\beta_1 = 18$	$\beta_2 = 6$

$$\text{Тогда } \bar{K} = 434,5 - \frac{17 \cdot (-8)}{28} = 439,36 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год} \quad (4.12)$$

$$S = 17 \sqrt{\frac{72 - \frac{(-8)^2}{28}}{28-1}} = 27,3166 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год} \quad (4.13)$$

и коэффициент вариации составит:

$$\vartheta = \frac{S}{\bar{K}} = \frac{27,3166}{439,36} = 0,062 \ll 0,33 \quad (4.14)$$

Следовательно, показатель изменчивости ряда незначителен, а случайная величина описывается уравнением нормального закона распределения, поэтому минимальное число образцов для основных экспериментов составит:

$$N_{min} = \frac{t^2 \cdot \vartheta^2}{\varepsilon^2} = \frac{1,96^2 \cdot 0,062^2}{3^2} = 0,164 < 1. \quad (4.15)$$

В соответствии с общепринятой методикой планирования экспериментов примем $N_{min} = 3$. Это необходимо для получения вариационного ряда и оценки расхождений результатов в серии опытов.

Для принятия величины относительной ошибки проведем расчет абсолютных и относительных ошибок измерений (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Расчет относительной ошибки измерений

Измеряемая величина	Измерительный прибор	Единица измерения	Величина абсолютной ошибки	Величина измерения	Относительная ошибка, %
Длина образца	Штангенциркуль ШЦ-0,1	мм	0,1	30	4,8
Масса образца	Весы аналитические ВЛА-200г-М	г	0,0005	40	0,125

Во всех экспериментах, согласно общепринятой методике (глава 3) взвешивание проведено на аналитических весах ВЛА-200г-М с точностью измерения до 0,0005 г. Тогда относительная ошибка измерений по данным таблицы А2 (Приложение А) ($\bar{K} = 420,1 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}$) составит:

$$\varepsilon = \frac{\Delta M}{\bar{M}} \cdot 100\% = \frac{0,0005}{47,12121} \cdot 100\% = 0,0011\% \quad (4.16)$$

$$\bar{M} = \frac{1319,3939}{28} = 47,12121 \text{ г} \quad (4.17)$$

где ε – относительная ошибка измерений, %

ΔM – точность показания аналитических весов, г (абсолютная ошибка)

\bar{M} – среднеарифметическая масса взвешенных образцов, г.

4.2 Исследование коррозии черных металлов в атмосфере животноводческих помещений

Постоянно действующими факторами на поверхности деталей машин и оборудования животноводческих помещений являются:

- атмосфера помещения с высокой относительной влажностью и коррозионно-агрессивные газы;
- влажные кормовые мешанки и технологические остатки;
- частицы водных стоков ферментов в смеси с мочой животных (возможный вариант).

Представляет определенный интерес изучение коррозии Ст3 в этих средах (Приложение А, таблица А3). За контроль сравнения (фон) обычно в коррозионных исследованиях черных металлов принимают 1-7,5%-е водные растворы хлористого натрия.

Методика экспериментов стандартная: температура 16-18°C, без аэрации электролита, длительность экспозиции 48 ч, количество параллельных образцов – 5, результаты выходов пересчитываем на год, емкость химических стаканов – 1000 мл.

Представлял интерес определение зависимости коррозии стали Ст3 от концентрации растворов. На рисунке 4.1 приведен точечный график этой зависимости.

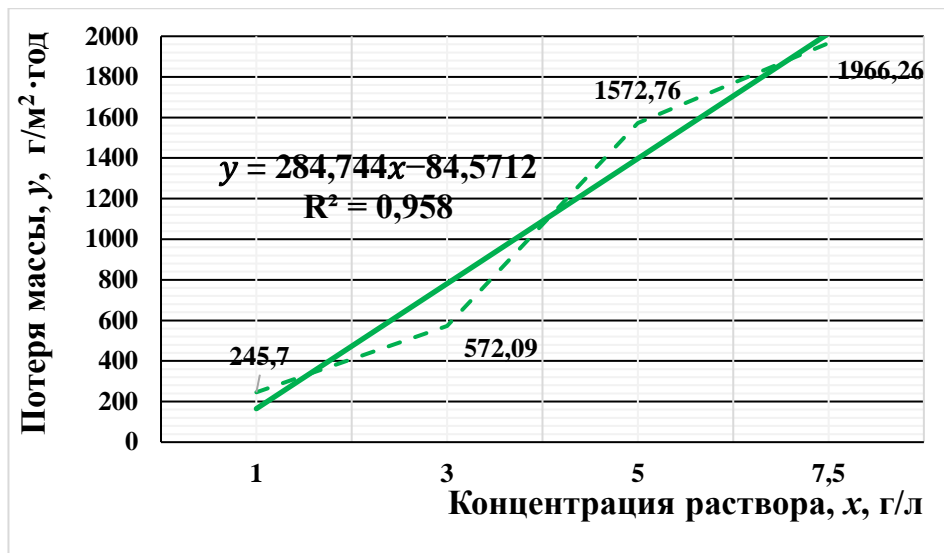


Рисунок 4.1 – Характер зависимости коррозионных потерь стали Ст3 от концентрации водного раствора хлорида натрия

По графику на рисунке 4.1 можно заключит, что процесс коррозии описывается уравнением прямолинейной зависимости вида:

$$y = a + bx, \quad (4.18)$$

где a и b – независимые коэффициенты уравнения регрессии.

Для доказательства 0-гипотезы необходимо вычислить коэффициент прямолинейной регрессии, величину его ошибки, критерий значимости и сравнить с помощью t-критерия Стьюдента при уровне $p=0,05$ и числе степеней свободы $\nu = n - 2$:

$$r = \frac{\sum(x-\bar{x}) \cdot (y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \cdot \sum(y-\bar{y})^2}}, \quad (4.19)$$

$$S_r = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}, \quad (4.20)$$

$$t_r = \frac{r}{S_r} \quad (4.21)$$

Расчеты выполнены во вспомогательных таблицах 4.4 и 4.5.

Таблица 4.4 – Вспомогательные расчеты

i	x_i	y_i	$x_i - \bar{x}$	$y_i - \bar{y}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$	$(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$
1	1	246	-3,125	-844	9,765625	712336	2637,500
2	3	573	-1,125	-517	1,265625	267289	581,625
3	5	1574	0,875	484	0,765625	234256	423,500
4	7,5	1967	3,375	877	11,390625	769129	1205,875
Σ	16,5	4360	0	0	22,6275	1983010	4848,500

Тогда

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{16,5}{4} = 4,125, \quad (4.22)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n} = \frac{4360}{4} = 1090, \quad (4.23)$$

коэффициент линейной корреляции:

$$r = \frac{4848,5}{\sqrt{22,6275 \cdot 1983010}} = 0,722. \quad (4.24)$$

Корреляция средняя, т.к. $0,6 < (r = 0,722) < 0,9$ (4.25)

$$S_r = \sqrt{\frac{1-0,722^2}{4-2}} = 0,48866. \quad (4.26)$$

H_0 -гипотеза верна, т.к.

$$t_r = \frac{0,722}{0,48866} = 1,47748 \quad (4.27)$$

$$t_{\text{табл}} (p=0,05; \nu=4-2=2) = 4,30 \quad (4.28)$$

$$t_r < t_{\text{табл}} \quad (4.29)$$

Таблица 4.5 – Промежуточные вычисления

i	x_i	y_i	x_i^2	$x_i y_i$	\hat{y}_i
1	1	246	1	246	200,173
2	3	573	9	1719	769,666
3	5	1574	25	7870	1415,149
4	7,5	1967	56,25	14752,5	2051,008
Сумма	16,5	4360	91,25	24587,5	4435,996

Используя метод наименьших квадратов, вычислим значения коэффициентов a и b уравнения регрессии:

$$\begin{cases} na + b \sum x_i = \sum y_i \\ a \sum x_i + b \sum x_i^2 = \sum x_i y_i \end{cases} \quad (4.30)$$

$$\begin{cases} 4a + 16,5b = 4360 \\ 16,5a + 91,25 = 24587,5 \end{cases} \quad (4.31)$$

Откуда

$$y = -84,5712 + 284,744x \quad (4.32)$$

Относительная ошибка измерений и вычислений:

$$\varepsilon = \frac{4360 - 4435,996}{4360} \cdot 100\% = 0,5587\% \quad (4.33)$$

что меньше предельно допускаемой величины относительной ошибки.

Следовательно, в качестве фона для контрольной среды можно применять водный раствор хлорида натрия.

Предварительно были исследованы составы атмосферы животноводческих помещений: свиарника и коровника.

Было проведено исследование состава микроклимата помещений.

Результаты измерения концентраций вредных составляющих атмосферы помещений свиарника и коровника за год представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Концентрация составляющих атмосферы воздуха помещений

Месяцы года	Сернистый ангидрид, мг/м ³	Аммиак, мг/м ³	Сероводород, мг/м ³	Углекислый газ, мг/м ³
Январь	9/следы	41/39	9/8	0,36/0,30
Февраль	7/следы	40/38	9/8	0,28/0,25
Март	7/следы	39/39	8/8	0,30/0,20
Апрель	5/-	36/35	7/5	0,28/0,20
Май	3/-	30/25	6/-	0,24/0,15
Июнь	2/-	30/-	4/-	0,24/-
Июль	1/-	26/-	2/-	0,14/-
Август	2/-	32/-	5/-	0,25/-
Сентябрь	3/-	35/-	5/-	0,25/-
Октябрь	4/следы	40/29	6/6	0,27/0,24
Ноябрь	7/следы	40/32	9/8	0,28/0,26
Декабрь	9/следы	41/33	9/9	0,31/0,30

Примечание. В числителе приведены значения для свиарника, а в знаменателе – для коровника. Необходимо отметить, что дойные коровы в конце мая или в начале июня переводились в летние лагеря и замер концентрации газов за этот период не проводился.

Для исследования коррозии стали и цветных металлов в атмосфере животноводческих помещений были взяты средние пробы с поверхностей образцов из стали Ст3, меди М1 и латуни Л63, выдержанных в течение года в атмосферах свиарника и коровника (таблица 4.7.)

Таблица 4.7 – Результаты анализа продуктов коррозии образцов в атмосфере животноводческих помещений

Обнаружено		Материалы образцов					
		Ст3		Медь М1		Латунь Л63	
		в свинар нике	в коров нике	в свинар нике	в коров нике	в свинар нике	в коров нике
Катионы	Cu^{2+}	-	-	+	+	+	+
	Fe^{2+}	+	+	-	-	-	-
	Fe^{3+}	+	+	-	-	-	-
	Zn^{2+}	-	-	-	-	+	+
	NH_4^+	+	+	+	+	+	+
Анионы	S^{2-}	+	-	+	+	+	-
	SO_3^{2-}	+	+	-	+	+	+
	SO_4^{2-}	+	-	+	-	-	-
	NO_3^-	+	+	-	-	-	-
	Cl^-	-	+	-	+	-	-
	CO_3^{2-}	+	+	-	+	-	-

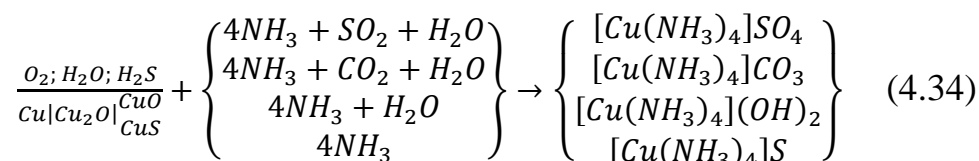
Примечание: «+» – обнаружено, «-» – не обнаружено

Оттенок продуктов коррозии стали и цветных металлов разнообразен. На поверхности стали они имеют светло- и темно-зеленый, бурый, черный и желтый оттенок, на медных деталях обнаруживаются зеленый, белый, черный, красный и синий оттенки, а на латуни – белый, желтый, черный и зеленый оттенки (анализ проведен визуально с помощью лупы 4-хкратного увеличения). Такое разнообразие оттенков указывает на то, что продукты коррозии образцов имеют сложный химический состав.

Были проведены предварительные эксперименты по изучению характера коррозии в натуральных условиях. Обследования пультов управления электрооборудованием показывают повышенную коррозию меди. На этот процесс, по всей вероятности, в первую очередь влияет аммиак, что можно судить из качественного анализа продуктов коррозии.

Продукты коррозии меди в животноводческих помещениях состоят из сульфатов, сульфидов и окислов, а продукты коррозии латуни кроме того содержат сульфиты и хлориды (таблица 4.7).

Коррозионное разрушение меди идет, по всей видимости, через образование комплексных соединений:



Результаты исследований коррозионных потерь металлов в имитирующих растворах атмосферы помещений свинарника и коровника представлены в таблице А4 (Приложение А) (продолжительность экспозиции – 720 часов, температура комнатная, без аэрации электролита).

Определялись коррозионные потери стали за 720 часов экспозиции, результаты выражали в г/м²·месяц:

$$K = \frac{M_1 - M_2}{P \cdot T} \cdot 10000 \cdot 720, \quad (4.35)$$

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

$P = 2[ав + (а + в)с]$, см² (а, в, с – длина, ширина и толщина образцов, см);

$T=1$ месяц (продолжительность экспозиции)

10000 – коэффициент перевода площади поверхностей образцов из см² в м².

720 – коэффициент перевода продолжительности экспозиции с часов в месяц.

Результаты экспериментов (столбец 7, Приложение А, таблица А4) представляют неупорядоченные вариационные ряды. Ранжирование их по возрастающему признаку представлены в следующем виде:

– среда, имитирующая атмосферу свинарника:

$$94,214; 98,293; \dots; 103,202; 104,116 \quad (4.36)$$

– среда, имитирующая атмосферные условия коровника:

$$82,620; 86,200; \dots; 91,710; 94,229 \quad (4.37)$$

Оценка точности экспериментов можно проверить через определение «сомнительных» членов ряда, т.е. определением крайних дат на принадлежность к совокупности через критерий τ :

для левого члена:

$$\tau_l = \frac{n_2 - n_1}{n_{10} - n_1} < \tau_{\text{таб}}, \quad (4.38)$$

для правого члена:

$$\tau_{\text{пр}} = \frac{n_{10} - n_9}{n_{10} - n_1} < \tau_{\text{таб}}, \quad (4.39)$$

где $n_1, n_2 \dots n_{10}$ – члены вариационного ряда;

$\tau_{\text{таб}}$ – табличное значение критерия;

$$\tau_{\text{таб}(n=10; \gamma=0,95)} = 4,77.$$

В таблице 4.8 приведена оценка принадлежности крайних членов ряда совокупностям.

Таблица 4.8 – Расчет критерия τ

Атмосферные условия	
Свинарника	Коровника
$\tau_{\text{л}} = \frac{98,293 - 94,214}{104,116 - 94,214} = 0,41$	$\tau_{\text{л}} = \frac{86,200 - 82,620}{94,229 - 82,620} = 0,308$
$\tau_{\text{пр}} = \frac{104,116 - 103,202}{104,116 - 94,214} = 0,092$	$\tau_{\text{пр}} = \frac{86,200 - 82,620}{94,229 - 82,620} = 0,343$

Результаты расчетов, приведенные в таблице 4.8 показали, что все члены вариационного ряда принадлежат совокупности, т.е. не являются ошибкой экспериментов или неправильности расчетов.

Для дальнейших анализов результатов экспериментов можно брать среднее значение ($K = \frac{1}{n} \sum k_i$) из совокупности полученных результатов (рисунок 4.2):

- для атмосферы свинарника $K = 100,33$ г/м²·месяц,
- для атмосферы коровника $K = 89,47$ г/м²·месяц.

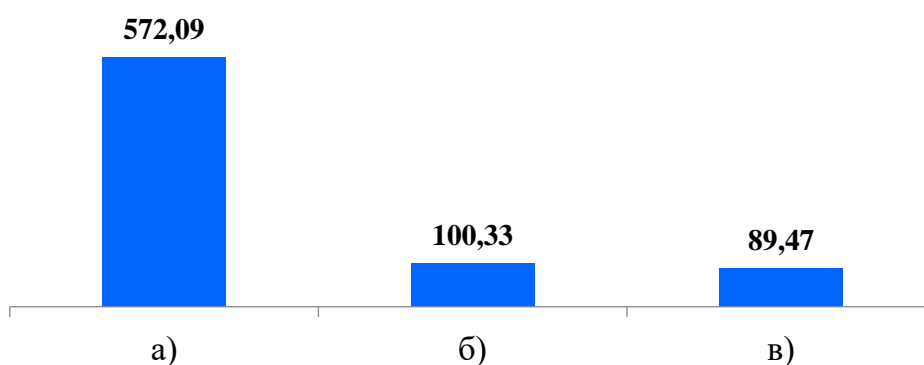


Рисунок 4.2 – Коррозионные потери стали Ст3, г/м²·мес.: а) в 3%-м растворе NaCl (Приложение А, таблица А3); б) в среде, имитирующей атмосферные условия свинарника; в) в среде, имитирующей атмосферные условия коровника

Воздушная среда свинарника на 12% агрессивнее воздушной среды коровника, а раствор хлорида натрия в 5,7 раза агрессивнее воздушной среды атмосферы свинарника.

4.3 Исследование влияния составляющих атмосферы на коррозию конструкционных материалов

Данный вопрос изучался методом математического планирования экспериментов через постановку многофакторного эксперимента плана $N=2^4$.

Эксперименты ставились в электролите, моделирующем условия атмосферы животноводческих помещений. Состав агрессивных составляющих воздуха приведен в таблице 1.2, а фактические концентрации их – в таблице 4.6. В соответствии с ними составлялась матрица планирования (таблица 4.9).

Таблица 4.9 – Матрица планирования эксперимента

Показатели		Концентрации, мг-экв/л			
		x_1	x_2	x_3	x_4
Основной уровень	O_{x_i}	24,00	0,40	6,00	5,50
Интервал варьирования	x_i	2,00	0,15	1,00	0,32
Верхний уровень «+»	$O_{x_i} + \lambda_i$	26,00	0,55	7,00	5,82
Нижний уровень «-»	$O_{x_i} - \lambda_i$	22,00	0,25	5,00	5,18

Примечание. x_1, x_2, x_3, x_4 – кодированные значения концентраций газов: x_1 – аммиак, x_2 – сероводород, x_3 – углекислый газ, x_4 – сернистый ангидрид.

Результаты экспериментов по стали Ст3 представлены в Приложении А (таблица А5). Эксперименты проводились в лабораторных условиях в химических стаканах емкостью по 750 мл. Количество образцов в каждом варианте $m=3$, число вариантов 16, состав электролитов: вода дистиллированная и химические реагенты. План экспериментов приведен в таблице 4.10, вариант схемы экспериментов на рисунке 4.3.

Пример составления электролитов:

Вариант №6: План	x_1	x_2	x_3	x_4
Кодированное значение	+	-	+	-
Фактическое значение	26,00	0,25	7,00	5,18

Рисунок 4.3 – Вариант схемы экспериментов

Сравнивая расчетное значение критерия Кохрена с табличным значением определяли воспроизводимость экспериментов:

$$G_p = \frac{\max S_j^2}{\sum S_j^2} = \frac{0,050408}{0,323537} = 0,156 < G_{\text{табл}}(N=16; v=2) = 0,384 \quad (4.40)$$

Таблица 4.10 – План экспериментов (нижний и верхний уровни факторов)

N	План			
	x_1	x_2	x_3	x_4
1	-	-	-	-
2	+	-	-	-
3	-	+	-	-
4	+	+	-	-
5	-	-	+	-
6	+	-	+	-
7	-	+	+	-
8	+	+	+	-
9	-	-	-	+
10	+	-	-	+
11	-	+	-	+
12	+	+	-	+
13	-	-	+	+
14	+	-	+	+
15	-	+	+	+
16	+	+	+	+

Расчет коэффициентов уравнения регрессии выполняем по выражениям:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum \bar{y}_j \cdot x_{j0}; \quad b_i = \frac{1}{N} \sum \bar{y}_j \cdot x_{ji}; \quad b_{ij} = \frac{1}{N} \sum \bar{y}_j \cdot x_{ji} \cdot x_{ij} \quad (4.41)$$

Тогда уравнение регрессии будет иметь вид:

$$y = 1,235 - 0,179x_1 + 0,031x_2 - 0,044x_3 + 0,00029x_4 - 0,0042x_1x_2 + 0,0065x_1x_3 + \\ + 0,048x_1x_4 - 0,00139x_2x_3 - 0,00575x_2x_4 - 0,0216x_3x_4 - 0,22x_1x_2x_3 - 0,021x_1x_2x_4 - \\ - 0,0055x_1x_3x_4 - 0,018x_2x_3x_4 - 0,0068x_1x_2x_3x_4 \quad (4.42)$$

Проведя полный статистический анализ уравнения (4.42) в последовательности, приведенной в [128], определили условия значимости его коэффициентов:

$$b_i \geq S\{b_i\} \cdot t_{(p=0,05; v=N(m-1)=32)}; \quad b_i \geq 0,02862 \quad (4.43)$$

Тогда из уравнения исключили коэффициенты, меньшие 0,02862, так как переменные при таких коэффициентах почти не оказывают влияние на коррозионный процесс образцов.

После исключения незначимых коэффициентов уравнение зависимости будет выглядеть:

$$y = 1,235 - 0,179x_1 + 0,031x_2 - 0,044x_3 + 0,048x_1x_4 \quad (4.44)$$

Используя критерий Фишера, окончательное уравнение зависимости проверили на адекватность к первоначальному уравнению:

$$F_{расч} = \frac{\max(S_{ад}^2; S^2[y])}{\min(S_{ад}^2; S^2[y])} \leq F_{таб}, \quad (4.45)$$

где дисперсия адекватности:

$$S_{ад}^2 = \frac{1}{N-B} \sum (\bar{y}_j - \hat{y}_l)^2, \quad (4.46)$$

где B – количество коэффициентов, оставшихся после исключения незначимых ($B = 5$):

$$S_{ад}^2 = \frac{1}{16-5} \cdot 0,278621 = 0,025329. \quad (4.47)$$

Критерий Фишера будет иметь значение:

$$F_{расч} = \frac{0,025324}{0,020221} = 1,2533; \quad (4.48)$$

$$F_{таб} (v_1=4; v_2=32; p=0,05) = 2,52. \quad (4.49)$$

$$F_{расч} < F_{таб} \quad (4.50)$$

Такое соотношение расчетного и табличного значений критерия Фишера означает, что остаточное уравнение зависимости будет адекватно первоначальному уравнению.

Анализ уравнения регрессии:

- на коррозию черных металлов влияет в первую очередь сероводород и сернистый ангидрид (коэффициенты при x_2 и x_4 положительны);
- углекислый газ оказывает незначительное влияние на коррозию черных металлов;
- аммиак проявляет ингибирующее действие на процесс коррозии, т.к. коэффициент при факторе x_1 отрицателен.

Следовательно, необходимо надежно изолировать поверхности машин и оборудования от воздействия на них агрессивных составляющих атмосферы помещений ЖВК, в первую очередь от сернистого ангидрида и сероводорода, что не противоречит результатам исследований, проведенных в ИФХ АН России.

Щелевую коррозию машин и оборудования исследовали в условиях животноводческих помещений на образцах из стали Ст3. На одну сторону образца наклеивали полиэтиленовую пленку. Требуемый зазор между образцами

достигался с помощью набора прокладок. При проведении опытов относительная влажность воздуха составляла 75-100%. Длительность испытания не превышала 60 суток, так как при более длительных испытаниях через полиэтиленовую пленку возможно диффундирование агрессивных составляющих до поверхности металла. Это может вызывать дополнительную коррозию стали со стороны защищенной поверхности. ЛКМ в качестве изоляционного материала опытных образцов в водном растворе кормов неприемлемы, так как в этих условиях они могут пропускать до поверхности металла влагу и различные газы уже в течение первых 9-10 суток. Коррозию образцов определяли стандартным методом (см. раздел 3).

Результаты исследования влияния величины зазора на интенсивность щелевой коррозии Ст3 приведены в таблице 4.11 и рисунке 4.4.

Таблица 4.11 – Влияние величины зазора на интенсивность щелевой коррозии Ст3 в атмосфере свиарника

Зазор, мм	Скорость коррозии, г/м ² ·час	Относительная агрессивность среды
0,5	0,124	7,75
1,0	0,138	8,60
1,5	0,126	7,86
2,0	0,118	7,36
3,0	0,117	7,30
4,0	0,117	7,30
5,0	0,116	7,24
6,0	0,116	7,24

В этой таблице относительная агрессивность среды определена как отношение скорости щелевой коррозии Ст3 к средней скорости коррозии ее в открытой атмосфере сельской местности. В 2019 году в Рязанской области она составила 0,014 г/м² час.

Результаты испытания показали, что интенсивность коррозии в зазорах и на открытых поверхностях резко отличаются. При испытании в атмосфере в зазоре 0,5-1,5 мм скорость коррозии почти в 1,3 раза выше, чем на открытых поверхностях. Это может быть объяснено тем, что в малых зазорах циркуляция жидкости затормаживается, доступ растворенного кислорода к поверхности металла затруднен, что и приводит к более интенсивному протеканию анодного процесса.

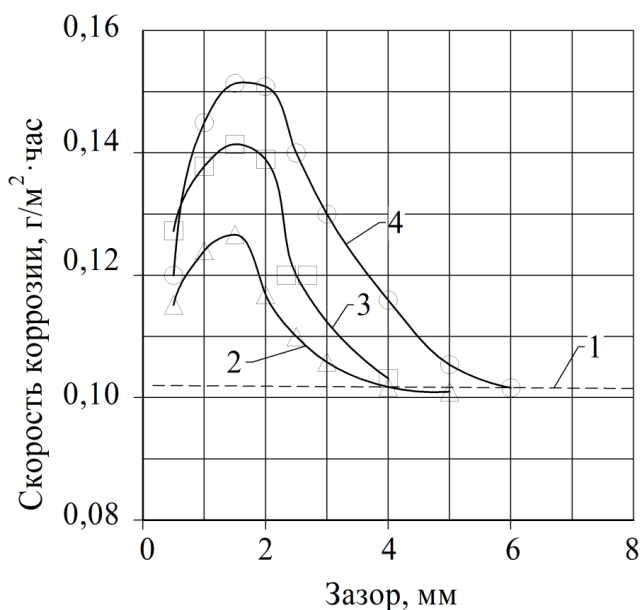


Рисунок 4.4 – Зависимость скорости коррозии Ст3 от величины зазора в атмосфере свиарника: 1 – открытая поверхность; 2 – щелевая поверхность; 3 – щелевая поверхность при однократном смачивании в сутки; 4 – щелевая поверхность при четырехкратном смачивании в сутки

При визуальном осмотре образцов после испытания в атмосфере помещения было замечено, что в зазорах от 0,5 до 4 мм образуются продукты коррозии темно-зеленого цвета, а в зазорах больших размеров – бурого цвета. В зазорах более 4-6 мм интенсивность коррозии имеет одинаковое значение со скоростью коррозии стали на открытых поверхностях.

Раздатчики кормов, самокормушки, автопоилки, машины и механизмы по уборке и транспортировке навоза эксплуатируется в сутки несколько раз в течение непродолжительного времени, т.е. циклично, в результате которого детали периодически смачиваются влагой или навозной жижой. Влага, попавшая в щели, постепенно высыхает. Скорость коррозии образцов в этом случае имеет иную характеристику в зависимости от величины зазора и частоты смачивания.

При частом смачивании в зазорах влага полностью не высыхает, тем самым затрудняется доступ воздуха к поверхности металла. В зазорах 1-2 мм и смачивании в сутки один раз коррозионноактивная жидкость из зазора не вытекает, но она постепенно высыхает и улучшается доступ воздуха к поверхности изделия, и тем самым создаются благоприятные условия протекания коррозионных процессов. Из зазора же более 2 мм коррозионноактивная жидкость может вытекать, и смоченная поверхность высыхает в течение 20-45 минут, поэтому интенсивность коррозии здесь, сравнительно мала.

Практически, любое соединение, в том числе и резьбовое, можно рассматривать как зазор, где в основном преобладает щелевая коррозия, поэтому при консервации машин и оборудования ЖВК и ферм особое внимание нужно уделять консервации резьбовых соединений с целью защиты их от коррозии.

Исследования *коррозии черных металлов* проводились в атмосфере свинарников и коровников со стойловым содержанием молочного стада. Перевод животных в летние лагеря не проводился из-за ограничения зеленых выгонов. Исследовались образцы размером 100×30×2 мм из стали Ст3, стали 45 и углеродистой стали 65Г. Периодичность испытания составила 3, 6, 9, 12, 15 и 18 месяцев. Для удобства расчетов месяцы перевели в часы (таблица 4.12).

Таблица 4.12 – Перевод месяцев в часы

Месяцы	1	3	6	9	12	18
Суммарное время, ч	730	2190	4380	6570	8760	13140
Суммарное время, сутки	30,4	91,25	182,5	273,75	365,42	547,5

Результаты экспериментов и расчетов представлены в Приложении А, таблице А6.

Дисперсию по вариантам определяли по выражению:

$$S^2 = \frac{\sum(k_i - \bar{k})^2}{m-1}, \quad (4.51)$$

где $\bar{k} = \frac{1}{m} \sum k_i$ – средняя арифметическая по вариантам;

$k_i = \frac{M_1 - M_2}{n \cdot S} \cdot 10000 \cdot 8760$ – коррозионные потери i -го образца в пересчете на год.

Вычислялись среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации:

$$S = \sqrt{S^2}, \quad (4.52)$$

$$\vartheta = \frac{S}{\bar{k}} \quad (4.53)$$

Анализ данных Приложения А, таблицы А6 показывает, что полученные результаты подчиняются закону нормального распределения случайных величин. Принятое количество образцов в параллельных экспериментах обосновано с достоверностью 0,95.

Построенные точечные графики зависимости $k = f(T)$ можно описать уравнением зависимости:

$$k = a \cdot T^b \quad (4.54)$$

где k – расчетные значения коррозионных потерь образцов в ходе экспериментов в пересчете на $\text{г}/\text{м}^2 \cdot \text{год}$;

T – продолжительность экспериментов, месяцы;

a, b – коэффициенты уравнения регрессии.

Вычисления неизвестных коэффициентов можно производить, используя систему нормальных уравнений, полученных методом наименьших квадратов. Для этого предварительно преобразовали уравнение степенной зависимости в прямолинейную форму логарифмированием принятого уравнения регрессии [39]:

$$\lg k = \lg a + b \cdot \lg T \quad (4.55)$$

Тогда система будет выражена в следующем виде:

$$\begin{cases} n \cdot \lg a + b \cdot \sum \lg T = \sum \lg k \\ \lg a \cdot \sum \lg T + b \cdot \sum (\lg T)^2 = \sum (\lg k \cdot \lg T) \end{cases} \quad (4.56)$$

Дискриминант системы:

$$D = \begin{vmatrix} n & \sum \lg T \\ \sum \lg T & \sum (\lg T)^2 \end{vmatrix} \quad (4.57)$$

Тогда истинные значения параметров «а» и «в» вычисляем по выражениям:

$$\lg a = \frac{\begin{vmatrix} \lg k & \sum \lg T \\ \sum (\lg k \cdot \lg T) & \sum (\lg T)^2 \end{vmatrix}}{D} \quad (4.58)$$

$$b = \frac{\begin{vmatrix} n & \lg k \\ \sum \lg T & \sum (\lg k \cdot \lg T) \end{vmatrix}}{D} \quad (4.59)$$

Расчеты коррозии стали Ст3 в открытой атмосфере свиарника в зависимости от продолжительности экспозиции приведены в таблице 4.15.

$$\begin{cases} 5 \lg a + 4,544b = 13,209437 \\ 4,544 \lg a + 4,48408b = 12,257982 \end{cases} \quad (4.60)$$

$$\begin{cases} \lg a + 0,9088b = 2,641874 \\ \lg a + 0,9868b = 2,697620 \end{cases} \quad (4.61)$$

$$b = 0,7147 \quad (4.62)$$

$$\lg a = 1,99234 \quad (4.63)$$

$$a = 98,25 \quad (4.64)$$

$$k = 98,25 \cdot T^{0,7147} \quad (4.65)$$

Таблица 4.13 – Промежуточные расчеты неизвестных коэффициентов «а» и «в» принятого уравнения регрессии

T	k	$\lg T$	$\lg k$	$(\lg T)^2$	$\lg k \cdot \lg T$	\hat{k}
3	235	0,47712	2,371069	0,227645	1,131284	215
6	361	0,77815	2,557507	0,605520	1,990124	353
9	461	0,95424	2,637008	0,910579	2,541810	472
12	569	1,07918	2,755122	1,164632	2,973262	590
18	774	1,25527	2,888741	1,575709	3,621497	775
Сумма	2400	4,544	13,209437	4,484085	12,257982	2405

Правильность расчетов оценивалась равенством:

$$\sum k_i \cong \sum \hat{k}_i \quad (4.66)$$

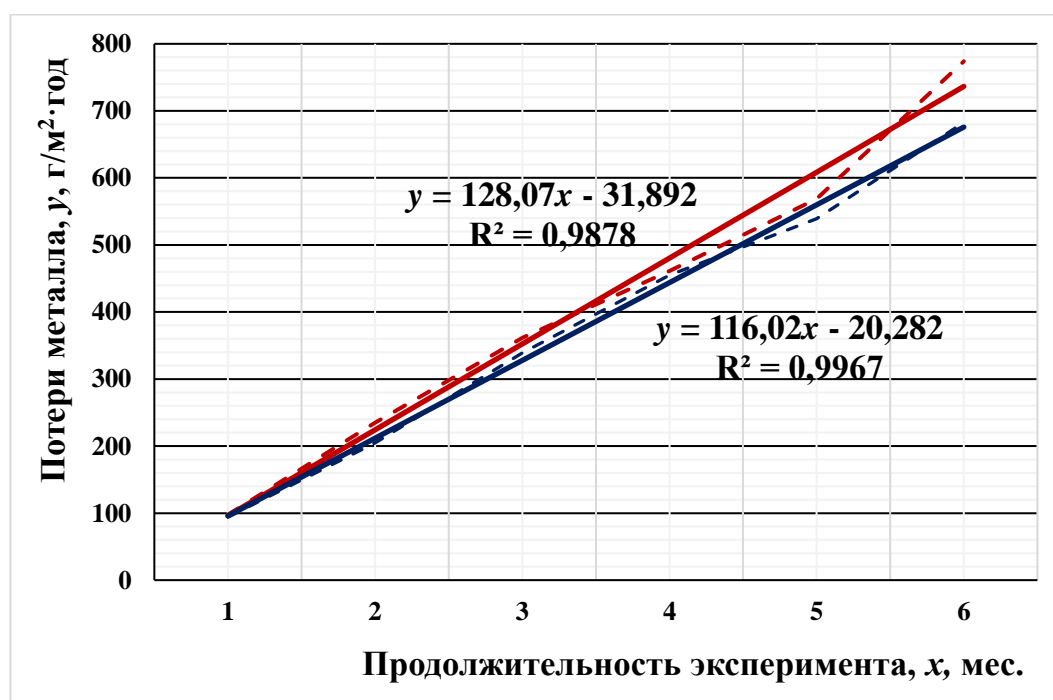
где \hat{k}_i – значение выхода по уравнению зависимости в точках экспозиции.

Относительное расхождение составило:

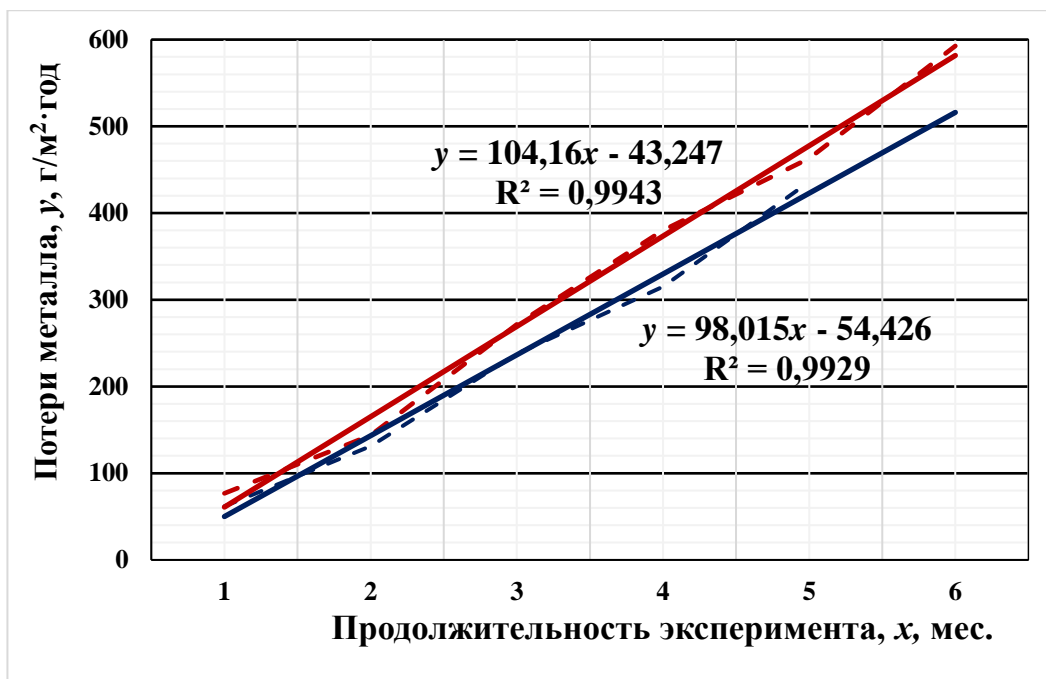
$$\varepsilon = \frac{2400 - 2405}{2400} \cdot 100\% = 0,2\%, \quad (4.67)$$

что не выходит за рамки принятой величины ошибки.

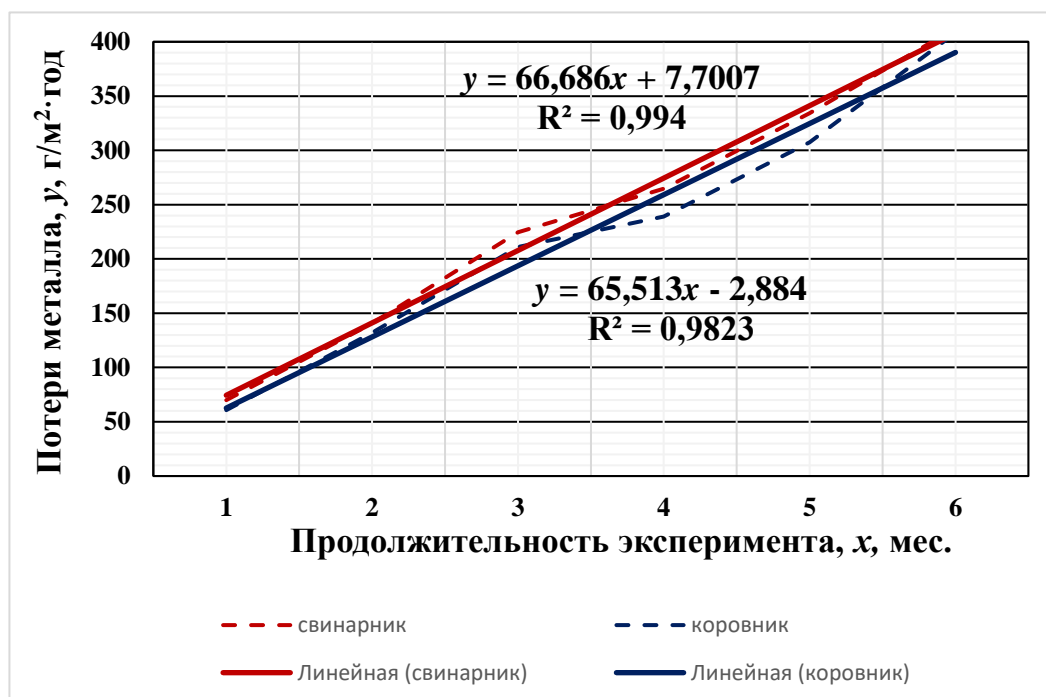
Результаты лабораторных исследований зависимости коррозионных потерь металлов от времени в атмосфере помещений и их статистической обработки приведены в Приложении А, таблице А7 и на рисунке 4.5.



а)



б)



в)

Рисунок 4.5 – Зависимость коррозионных потерь металлов от времени в атмосфере свинарника и коровника: а) сталь Ст3; б) сталь 45; в) сталь 65Г

Из результатов лабораторных исследований и их статистической обработки видно, что по коррозионной стойкости исследованные металлы в

атмосферных условиях обоих помещений располагаются в следующей последовательности (рисунок 4.5): Сталь 65Г > Сталь 45 > Ст3.

Можно сделать вывод о том, что скорость коррозии металлов в атмосфере животноводческих помещений с течением времени замедляется, по всей видимости, по причине образования на корродируемой поверхности продуктов коррозии, которые могут оказывать некоторое экранирующее и защитное действие.

Интересно отметить некоторые особенности продуктов коррозии. Одной из особенностей является их двухслойная структура. Наружный слой темнее и содержит большое количество различного рода частиц пыли, технологических остатков и отложившихся солей. Этот слой, состоящий в основном из водной окиси железа с включениями сульфидов, сульфатов, слабо связан с внутренним слоем, который плотно прилегает к поверхности стали.

Таким образом, можно предположить, что во влажной атмосфере свинарника и коровника коррозионный процесс на поверхности изделий происходит из-за диффузии ионов железа от поверхности стали наружу через слой продуктов коррозии, где они вступают в контакт с кислородом воздуха или агрессивными составляющими атмосферы, которые также могут диффундировать навстречу ионам железа внутрь через наружный слой продуктов коррозии. В результате взаимодействия агрессивных составляющих атмосферы с ионами железа в продуктах реакции образуются солеотложения.

Учитывая результаты качественного анализа продуктов коррозии и проведенных исследований можно предположить, что основным конечным компонентом реакций является гидратированная форма окиси железа $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$, кроме включений сульфидов и сульфитов могут содержаться и двойные соли светло-зеленого цвета $(NH_4)_2SO_4 \cdot FeSO_4$.

4.4 Исследование коррозии металлов в водных растворах комбикормов

Для исследований создавали насыщенные водные растворы комбикормов. Эксперименты проведены по стандартной методике, результаты приведены в Приложении А, таблице А8.

Оценка расхождения результатов коррозионных потерь образцов приведена в таблице 4.14, а интенсивность коррозии металлов в насыщенных растворах комбикормов – на рисунке 4.6.

Таблица 4.14 – Оценка расхождения результатов экспериментов

Испытуемый материал	Результаты выходов, k_i , г/м ² ·год	Среднее значение выходов, \bar{k}	Дисперсия, S^2	Среднее квадратическое отклонение, S	Коэффициент вариации, ϑ
Сталь Ст3	266; 258; 251; 270; 258	260,6	55,80	7,4700	0,0866
Сталь 45	233; 246; 239; 228; 225	234	6,23	2,4969	0,0107
Сталь 65Г	182; 170; 145; 151; 177	165	313,50	17,7060	0,1073

Из таблицы 4.14 видно, что по всем трем рассматриваемым металлам коэффициент вариации находится в интервале от 0,10 до 0,3, т.е. распределение результатов описывается законом нормального распределения.

Если рассматривать состав комбикормов, то агрессивными по отношению к конструкционным материалам являются сера и хлор. Из перечня аминокислот, входящих в состав комбикормов, только лизин может проявлять незначительное ингибирующее действие.

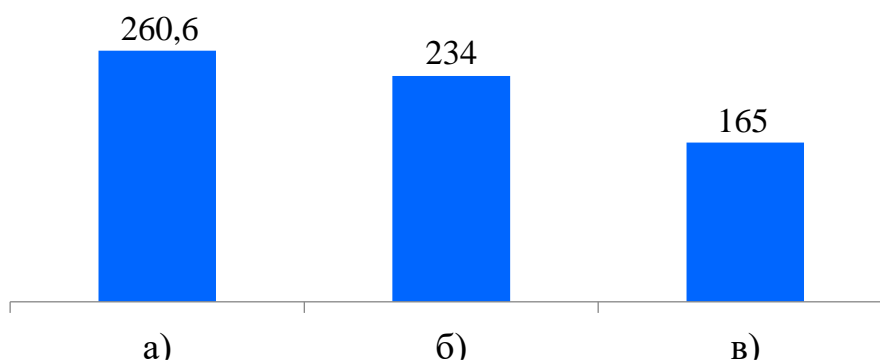


Рисунок 4.6 – Интенсивность коррозии металлов в насыщенных растворах комбикормов, г/м²·год: а) – сталь Ст3; б) – сталь 45; в) – сталь 65Г

Все исследованные металлы в этой среде не устойчивы к коррозии, о чем свидетельствует смещение их электродных потенциалов в область отрицательных значений (рисунок 4.7).

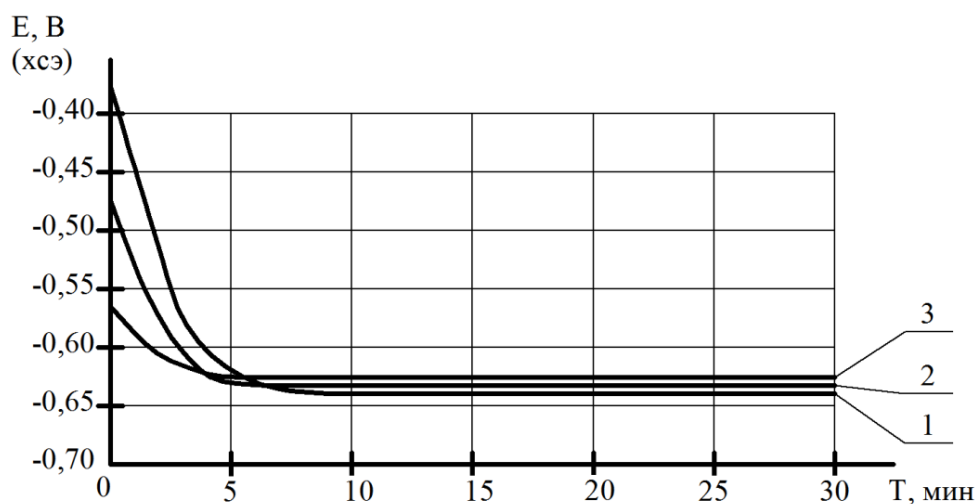


Рисунок 4.7 – Изменение стационарного потенциала стали Ст3 (1), стали 45 (2), и стали 65Г (3) в водном растворе комбикормов во времени (без аэрации)

Для изучения механизма коррозии сталей в комбикормовой мешанке были сняты анодные потенциодинамические кривые (рисунки 4.8, 4.9). Электродом сравнения являлся хлорсеребряный электрод, вспомогательным – спираль из платиновой проволоки (диаметр 0,8 мм, масса 3,5 г).

Из графиков на рисунках 4.8 и 4.9 видно, что в отличие от стационарных поляризационных кривых, все образцы не имеют участков пассивации, т.е. металлы постоянно подвержены коррозии. Процесс имеет питтинговый характер, чему способствуют имеющиеся в растворах кормов хлориды и сульфаты.

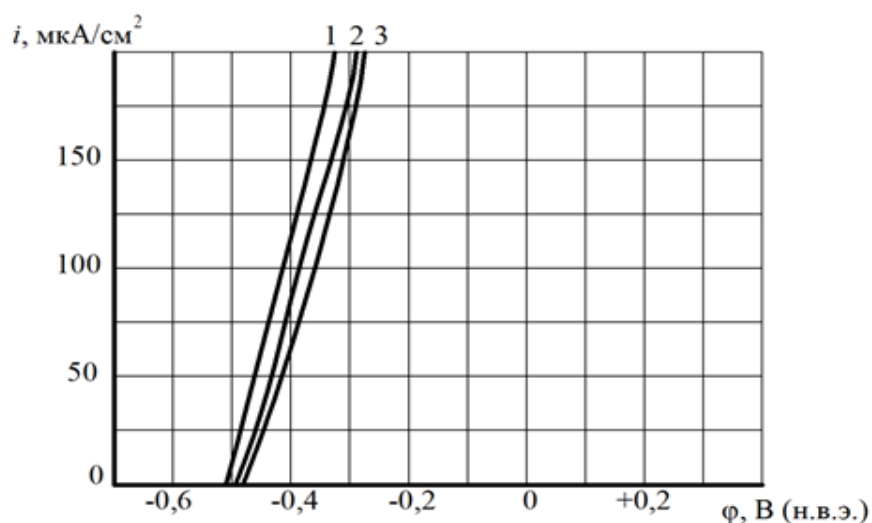


Рисунок 4.8 – Потенциодинамические поляризационные кривые сталей в водном растворе комбикормов (без перемешивания раствора):
1 – Ст3; 2 – Сталь 45; 3 – Сталь 65Г

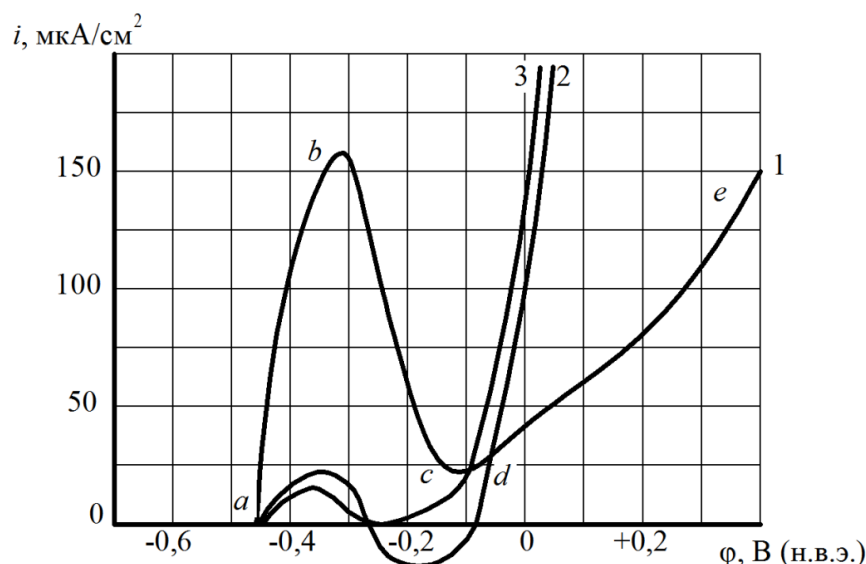
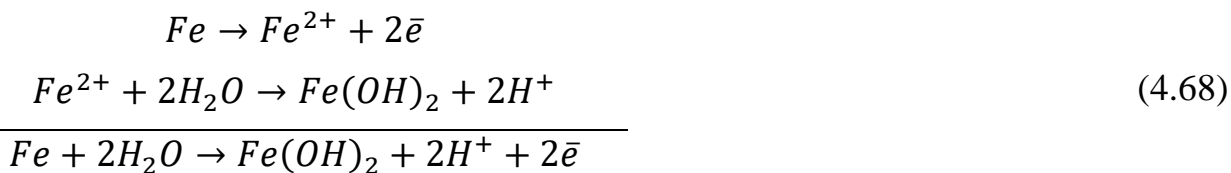


Рисунок 4.9 – Потенциодинамические поляризационные кривые сталей в водном растворе комбикормов (с перемешиванием раствора):

1 – Ст3; 2 – Сталь 45; 3 – Сталь 65Г

Отсутствие стадии пассивации черных металлов в растворе комбикормов может быть обусловлено тем, что скорость локального растворения металлов (питтингообразования) несколько превышает скорость формирования пассивирующей пленки по уравнению:



Равновесный потенциал этой реакции определяется выражением:

$$\varphi = 0,047 - 0,0591 V, \quad (4.69)$$

а при pH=7,5

$$\varphi = -0,49 V. \quad (4.70)$$

Аминокислоты, входящие в состав комбикормов, в случае перемешивания раствора не могут оказывать столь сильного влияния на питтингообразование вследствие их ограниченной диффузии к корродирующей поверхности. В случае перемешивания раствора доставка к поверхности металлов пассивирующих веществ (растворенного кислорода воздуха, молекул воды, аминокислот) облегчается. Это должно сказываться и на анодном поведении исследуемых металлов.

При снятии потенциодинамических поляризационных кривых сталей обнаруживаются следующие участки:

a-b – участок активного растворения поверхности образцов;

b-c – торможение и снижение интенсивности растворения;

c-d – небольшой участок пассивации;

d-e – вторичная активация.

Следовательно, аминокислоты, содержащиеся в комбикормовых мешанках, являются малоэффективными ингибиторами коррозии.

Адсорбция аминокислот на поверхности сталей затрудняет их растворение (низкие плотности тока в стадии активного растворения) и препятствует также внедрению активирующих анионов, в частности, хлор-ионов. Таким образом, адсорбция аминокислот резко смещает потенциалы питтингообразования в положительную сторону (приблизительно на 0,1 В). Замечено, что в области потенциалов пассивации на поверхности стали Ст3 и стали 45 формируется интерференционная (окисная) пленка голубого цвета.

Таким образом, обобщая полученные результаты можно сделать вывод о том, что черные металлы в растворах комбикормовых мешанок подвержены активному растворению с питтингообразованием. Перемешивание раствора способствует частичному пассивированию поверхности вследствие облегченной доставки к ней адсорбирующихся аминокислот.

4.5 Исследование свойств составов и улучшение их защитных и физико-механических свойств

Исследования проведены на битумных составах.

Одной из причин ограничения использования битумных составов для защиты машин и оборудования ЖВК и ферм от коррозии являются их недостатки, к которым можно отнести:

- ограниченные границы зоны пластичности;
- низкая морозо- и жаростойкость;
- нестабильная вязкость при хранении;
- быстрое старение, особенно под действием солнечных лучей;

- хрупкость при низкой температуре;
- отслоение от поверхности при длительном нахождении во влажных средах.

Улучшением защитных и физико-механических свойств битумных составов занимаются со дня появления первых государственных стандартов на хранение СХТ. Для этого применялись различные способы и средства. Однако, характерными для всех этих способов недостатками являются:

- дефицитность ингредиентов;
- относительно высокая стоимость конечной продукции;
- некоторая нестабильность во время длительного хранения.

Нами исследованы возможности увеличения физико-механических и защитных свойств битумно-бензиновых композиций добавлением различных добавок (таблица 4.16), рациональную концентрацию которых определили по изменению ингибиторных свойств битумно-бензиновых составов в зависимости от концентрации добавок, которое было изучено потенциодинамическим измерением плотности анодного тока при различных значениях потенциалов. Результаты приведены в таблице 4.15. Значение плотности анодного тока прямо пропорционально скорости коррозии стали в коррозионной среде [6]. Для экспериментов использовали потенциостат П-5848, а в качестве электрода сравнения служил хлорсеребряный электрод (хсэ).

Из таблицы 4.15 видно, что скорость растворения стали 45 в битумно-бензиновых композициях с увеличением концентрации добавок снижается, достигая своего экстремума с добавками моторного дизельного масла М-10Г₂ и ингибированного масла НГ-203А при их концентрации 6% по массе, а с добавками присадки АКОР-1 и олигомера Д-10ТМ – при их концентрации 5% по массе. Дальнейшее повышение концентрации добавок к заметному эффекту не приводит. Это доказывает, что указанные концентрация добавок в битумно-бензиновых композициях являются рациональными, и они приняты для дальнейших исследований.

Таблица 4.15 – Результаты потенциодинамического измерения плотности анодного тока при различных значениях потенциала стали 45 в битумно-бензиновых композициях с добавками различных концентраций

Наименование добавки	Концентрация добавки в композиции, % по массе	Плотность анодного тока (i_a), мкА/см ² , в пассивной области при различных значениях потенциала стали (E, В по х.с.э.)			
		E = 0,0 В	E = 0,2 В	E = 0,4 В	E = 0,6 В
1	2	3	4	5	6
Битумно-бензиновая композиция (контроль)	0	4,0	4,2	4,3	4,4
Моторное дизельное масло М-10Г ₂	1	3,9	4,1	4,2	4,3
	2	3,8	3,9	4,1	4,2
	3	3,5	3,6	3,7	3,9
	4	3,2	3,4	3,5	3,7
	5	3,0	3,1	3,3	3,5
	6	2,8	2,9	3,1	3,3
	7	2,8	3,0	3,1	3,2
Ингибированное масло НГ-203А	1	3,8	3,8	4,0	4,1
	2	3,7	3,8	3,9	4,0
	3	3,4	3,5	3,6	3,8
	4	3,2	3,3	3,4	3,4
	5	3,0	3,1	3,2	3,3
	6	2,7	2,9	3,0	3,0
	7	2,7	2,9	3,1	3,1
Присадка АКОР-1	1	3,6	3,7	3,8	3,9
	2	3,4	3,6	3,7	3,7
	3	3,2	3,3	3,4	3,5
	4	3,0	3,1	3,3	3,4
	5	2,7	2,8	2,9	3,1
	6	2,7	2,8	2,8	3,1
Олигомер Д-10ТМ	1	3,2	3,3	3,4	3,5
	2	3,0	3,1	3,3	3,4
	3	2,8	2,9	3,1	3,2
	4	2,5	2,6	2,8	3,0
	5	2,4	2,5	2,6	2,7
	6	2,4	2,6	2,6	2,7

Ингибированное масло НГ-203А и присадка АКОР-1 выпускаются промышленностью [118], а олигомер Д-10ТМ разработан в Чебоксарском

кооперативном институте (филиале) Московского университета потребительской кооперации [76]. Испытывался для увеличения защитных свойств противозащитной мастики пластизоль Д-11А, применяемой для обработки днища кузова легковых автомобилей ВАЗ [77, 126, 127, 128].

Таблица 4.16 – Экспериментальные составы

№ варианта	Состав
1	Битумно-бензиновый раствор – контроль
2	То же + 6% по массе моторное дизельное масло М-10Г ₂
3	То же +6% ингибированное масло ИГ-203А
4	То же +5% присадки АКОР-1
5	То же +5% олигомер Д-10ТМ

В работе [76] приводится, что «олигоуретанакрылаты (ОЭУА) (в том числе и Д-10ТМ) обычно представляют собой бесцветные или слабоокрашенные (светло-желтые) жидкости, растворимые в большинстве органических растворителей и удовлетворительно совмещаются с мономерами и олигомерами других типов, не растворимы в воде. Независимо от молекулярной массы все макромолекулы содержат четыре уретановые и две метакрильные группы».

Характеристики ОЭУА отражены в таблицах 4.17 и 4.18.

Из работы [128] следует, что «пленки ОЭУА не претерпевают существенных изменений при хранении их на воздухе в течение продолжительного времени. Результаты исследования сравнительной стабильности ОЭУА и жидких уретановых каучуков показывают, что количество непредельных групп и вязкость ОЭУА практически не изменяется и равноценно по сравнению с жидким уретановым каучуком».

В работе [76] отмечено, что «ОЭУА из-за своей высокой молекулярной массы и наличия в цепи полярных уретановых групп, способен к проявлению сильных межмолекулярных взаимодействий за счет образования водородных связей».

Таблица 4.17 – Изменение вязкости олигомера при его хранении без контакта с окружающей средой

Индекс ОЭУА	Свойства олигомера при термостатировании (25 °С), через суток							
	0		5		15		60	
	Иодное число, г J/100г	Вязкость, пз	Иодное число, г J/100г	Вязкость, пз	Иодное число, г J/100г	Вязкость, пз	Иодное число, г J/100г	Вязкость, пз
Д-10ТМ	37,10	168,1	37,10	168,4	37,5	169,5	37,0	170,1

Таблица 4.18 – Характеристика олигомера Д-10ТМ

Наименование	Показатель
Состав, %	
– углерод	61,6
– водород	8,6
– азот	3,1
– кислород	26,7
Показатели:	
– бромовое число, Вг/100 г	22,15
– плотность, $\rho_{\text{гдзк}} \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	1,088
– вязкость, $\eta_{\text{гдзк}}$, Па·с	215,2

Методика определения однородности структуры защитной пленки описывается в работе [128], а схема электрохимической ячейки – на рисунке 4.10.

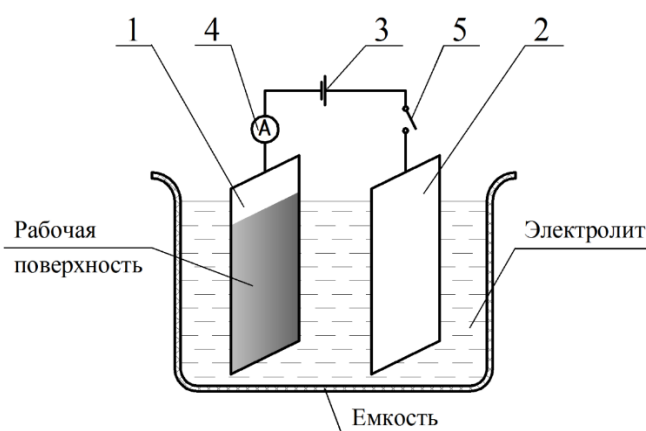


Рисунок 4.10 – Принципиальная схема электрохимической ячейки:
1 – образец с покрытием; 2 – образец без покрытия; 3 – источник тока (батарея типа «Крона»); 4 – миллиамперметр прибор; 5 – выключатель

«В качестве электролита в большинстве случаев используют 5%-й раствор хлорида натрия, а если требуется имитировать условия эксплуатации изделия, то можно применять специальные электролиты, характерные производственным условиям. Для уменьшения поляризации электродов в раствор добавляют до 1% по массе CuSO_4 » [128].

Эксперименты по определению продолжительности выдержки защитных покрытий в электролитах до начала появления тока в паре «электрод с пленкой состава – чистый электрод» проводили по методике, приведенной в работе [128].

В таблице 4.19 представлены результаты экспериментов. Продолжительная стойкость пленки защитного состава к диффузии электролитов свидетельствует о ее высокой сплошности, то есть о незначительном наличии в их структуре микропор.

Таблица 4.19 – Продолжительность выдержки защитных покрытий в электролитах до начала появления тока в паре «электрод с пленкой состава – чистый электрод», мин

№ вар.	Составы	5%-й раствор хлорида натрия	Насыщенный водный раствор комбикормов
1	Битумно-бензиновый раствор	8-9	12-14
2	То же с добавлением моторного дизельного масла М-10Г ₂	9-11	16-18
3	То же с добавлением ингибированного масла НГ-203А	12-14	17-19
4	То же с добавлением присадки АКОР-1	14-15	18-20
5	То же с добавлением олигомера Д-10ТМ	15-16	19-21

Из данных таблицы 4.19 видно, что лучшими защитными свойствами из изученных составов обладают битумно-бензиновые смеси с олигомером.

Изучено электрохимическое поведение металлов и степень изменения их электродных потенциалов во времени в различных составах (рисунок 4.11), сняты анодные кривые для стали (рисунок 4.12) с помощью потенциостата П-5848.

Графики на рисунках 4.11 и 4.12 свидетельствуют о том, что добавки смещают потенциал начала корродирования стали в более положительную зону. Наибольший эффект достигается при использовании в качестве добавки в битумно-бензиновый состав олигомера Д-10ТМ.

Анализируя графики на рисунках 4.11 и 4.12, которые коррелируют друг с другом и взаимно дополняют друг друга, можно подытожить, что наиболее предпочтительным из изученных добавок являются присадка АКОР-1 и олигомер Д-10ТМ. Их положительный эффект в улучшении физико-механических и защитных свойств битумных составов связано с тем, что при формировании пленки поры в структуре покрытия заполняются присадками. Такое явление способствует повышению сплошности пленки составов и более надежной изоляции подложки от коррозионно-агрессивных компонентов атмосферы помещений ЖВК. Также указанные добавки в составе битумных композиций выступают в качестве ингибиторов, способных смещать потенциал начала корродирования металла в более положительную зону.

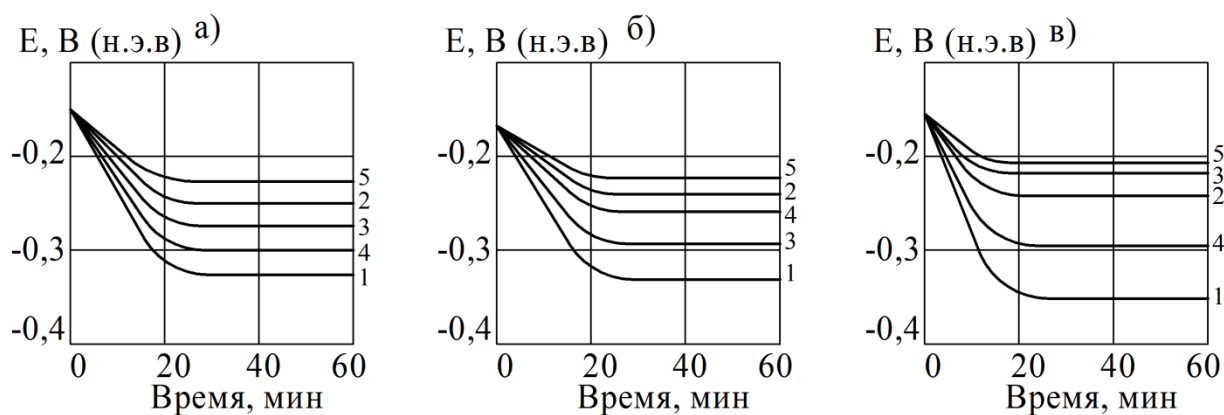


Рисунок 4.11 – Зависимость изменения во времени стационарного потенциала СтЗ: а) – в 3%-м растворе хлорида натрия; б) – в насыщенном водном растворе комбикорма ПК-2; в) в насыщенном водном растворе экскрементов свиней на откорме: 1 – электроды с битумным покрытием (контроль); 2, 3, 4, 5 – электроды с битумными покрытиями, полученные с добавлением в битумно-бензиновый раствор до 5% по массе присадки АКОР-1, ингибированного масла НГ-203, отработанного дизельного масла М-10Г₂ и олигомера Д-10ТМ соответственно

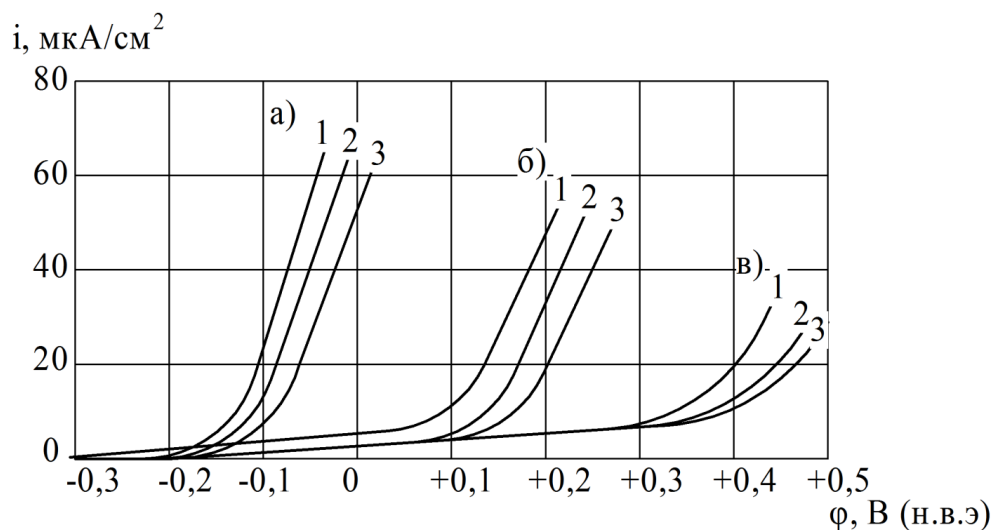


Рисунок 4.12 – Анодные потенциодинамические поляризационные кривые для образцов из стали Ст3, покрытых битумными составами с добавлением 5% по массе НГ-203А (1), присадки АКОР-1 (2) и олигомера Д-10ТМ (3), снятые в 5%-м растворе хлористого натрия (а), насыщенном водном растворе экскрементов свиней (б) и в насыщенном водном растворе комбикорма ПК-2 (в) при комнатной температуре без аэрации растворов

При сравнении свойств присадки АКОР-1 и олигомера Д-10ТМ можно выявить, что более эффективным для улучшения физико-механических и защитных свойств битумных составов является введение в битумную композицию олигомера Д-10ТМ.

По степени влияния на улучшение физико-механических и защитных свойств битумных составов изученные добавки можно расположить в следующей последовательности:

$$\text{Д-10ТМ} > \text{АКОР-1} > \text{НГ-203А.}$$

4.6 Выводы по разделу 4

1. Коррозия стали Ст3 в условиях животноводческих помещений описывается уравнением криволинейной регрессии $K = aT^b$. Средние коррозионные потери составляют, г/м²·год: в атмосфере свинарника – 480, коровника – 444, во влажной среде комбикормов – 260.

2. На кинетику коррозии стали сильнее влияют сернистый ангидрид и сероводород, входящие в состав атмосферы животноводческих помещений.

3. Физико-механические свойства битумно-бензиновых составов можно улучшать введением в них пластизоля Д-10ТМ в количестве 5% по массе.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОВЕРКИ РАЗРАБОТОК И ИХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

5.1 Сравнительная оценка защитных покрытий

Исследованиям подвергались покрытия из битумных композиций. Они наносились вертикальными полосами шириной по 100 и высотой 450 мм с внутренней стороны кузова мобильного кормораздатчика по вариантам, исследованным в лабораторных условиях.

Схема нанесения составов представлена на рисунке 5.1.

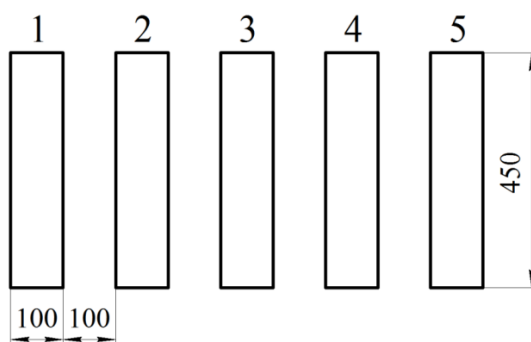


Рисунок 5.1 – Схема нанесения составов

На рисунке 5.1 показаны пять вариантов покрытий: 1 – битумное покрытие (контроль); 2, 3, 4, 5 – битумное покрытие с добавлением 5% по массе присадки АКОР-1, ингибированного масла НГ-203, отработанного дизельного масла М-10Г₂ и олигомера Д-10ТМ соответственно.

Периодически визуально оценивались покрытия по следующим показателям согласно данных таблицы 3.8 и 3.9.

- растрескивание, пузыри (до 5% по площади);
- растворение и отслаивание (поверхностная сетка, видимая невооруженным глазом (2% по площади));
- появление очагов коррозии (точки коррозии диаметром до 2 мм, видимая невооруженным глазом, до 5 точек на 100 мм²).

В Приложении А, таблице А9 приведены результаты производственных наблюдений вариантов защитных покрытий по балльной системе, где оценка дается по трем отдельным показателям:

- пузыри, растрескивание 5;

- отслаивание 2;
- появление очагов коррозии 5 точек на 100 мм².

В Приложении А, таблице А9 приведены показатели изменения свойств покрытий во времени, а в таблице 5.1 – предельные состояния, после которых требуется восстановление покрытия, т.е. ремонтная окраска. В ней не учтены механические повреждения пленок защитных составов, т.к. задачей испытаний было определение характера изменения защитных и физико-механических свойств покрытий.

Таблица 5.1 – Срок службы пленок защитных составов, сутки

Композиция	Оценочные показатели		
	Пузыри	Отслаивание	Коррозия подложки
Битумно-бензиновый раствор (контроль)	144	240	216
Битумно-бензиновый раствор + масло дизельное	192	264	288
Битумно-бензиновый раствор + НГ-203А	264	288	288
Битумно-бензиновый раствор + АКОР-1	288	312	312
Битумно-бензиновый раствор + Д-10ТМ	312	336	360

В качестве основного показателя оценки состояния покрытия приняли начало их отслаивания.

По этому показателю данные этой таблицы показывают:

- покрытия из чистого битумно-бензинового раствора могут служить не более 240 суток (контроль);
- покрытие «битумно-бензиновый раствор + масло дизельное» может служить не более 264 суток (+10% к контролю);
- покрытие «битумно-бензиновый раствор + НГ-203А» может служить не более 288 суток (+20% к контролю);
- покрытие «битумно-бензиновый раствор + АКОР-1» может служить не более 312 суток (+30% к контролю);

– покрытие «битумно-бензиновый раствор + Д-10ТМ» может служить не более 336 суток (+40% к контролю).

5.2 Расчет экономического эффекта разработанных мероприятий

Расчет ведем по укрупненному методу.

Общий экономический эффект от разработанных мероприятий по защите от коррозии машин и оборудования животноводства в общем виде складывается из четырех составляющих:

$$\mathcal{E}_Г = \mathcal{E}_к + \mathcal{E}_с - \mathcal{E}_{зм} + \mathcal{E}_{ср} \quad (5.1)$$

где $\mathcal{E}_к$ – экономия от уменьшения потерь металлов;

$\mathcal{E}_с$ – экономия от исключения потерь продукции животных из-за несоблюдения режима кормления, в первую очередь из-за нарушения технологического процесса;

$\mathcal{E}_{зм}$ – стоимость защитных материалов, руб;

$\mathcal{E}_{ср}$ – экономия от увеличения срока службы машин, руб.

Расчеты проведены по свиарнику и коровнику молочного стада, используя данные 2020 года по ООО «Рассвет» (391007, Рязанская область, Клепиковский район, с. Давыдово).

Исходные данные для расчета общего экономического эффекта от разработанных мероприятий приведены в таблице 5.2, откуда видно, что металлофонд в общем виде составляет, кг: по свиарнику – 12200, по коровнику – 15840.

Таблица 5.2 – Исходные данные для расчетов

Наименование показателя	Свиарник		Коровник	
	2018 г	2020 г	2018 г	2020 г
1	2	3	4	5
Среднегодовое поголовье КРС	–	–	702	713
Дойное поголовье	–	–	448	470
Поголовье свиней	1296	1365	–	–
Среднегодовой удой на одну голову	–	–	4480	4560
Среднесуточный привес КРС	–	–	563	670

1	2	3	4	5
Среднесуточный привес свиней	390	445	–	–
Товарность продукции, %	95	95	90	91
Годовая товарная продукция, ц	1510	1705	20240	21174
Средняя реализационная цена, руб/един.	10000	13000	600	800
Валовый доход, руб				
Металлофонд по помещениям:				
– Ограждения, кг	1200	1200	2000	2000
– Автопоилки, кг	1000	1000	1300	1300
– Трубы водопроводные, кг	600	600	840	840
– Навозоуборочные транспортеры, кг	2100	2100	4500	4500
– Оборудование кормоцеха, кг	7000	7000	7000	7000
– Вентиляционные установки, кг	300	300	500	500
– Пускоконтрольное оборудование, руб	5000	6500	5000	6500

Результаты исследований показали, что коррозионные потери стали Ст3 составляют 16-17% от металлофонда до внедрения результатов исследований и не более 1-2% после внедрения результатов исследований. Цену металла принимаем на уровне 30 руб/кг. Тогда экономия по уменьшению потерь металлов составит:

$$\mathcal{E}_k = Q \cdot (n_c - n_n) \cdot C_m \cdot 0,01, \text{ руб.} \quad (5.2)$$

где Q – масса материалов в i -ых объектах, кг;

n_c – интенсивность коррозионных потерь металла до внедрения результатов исследований, %;

n_n – то же, после внедрения результатов исследований, %;

C_m – цена металла, руб/кг.

Следовательно, прямой экономический эффект составит:

– по свинару:ку:

$$\mathcal{E}_k^{CB} = 12200 \cdot (16,5 - 1,5) \cdot 30 \cdot 0,01 = 54900 \text{ руб} \quad (5.3)$$

– по коровнику:

$$\mathcal{E}_k^{KOP} = 15840 \cdot (16,5 - 1,5) \cdot 30 \cdot 0,01 = 71280 \text{ руб} \quad (5.4)$$

От увеличения срока службы машин:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = Q \cdot \text{Ц}_m \cdot \frac{T_{\text{ф}} - T_{\text{ам}}}{T_{\text{ам}}}, \text{ руб} \quad (5.5)$$

где $T_{\text{ф}}$ – фактический срок службы металлофонда после реализации результатов исследований, лет;

$T_{\text{ам}}$ – амортизационный срок службы металлоизделий, лет.

Следовательно, имеем:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}}^{\text{св}} = 12200 \cdot 30 \cdot \frac{7-5}{5} = 146400 \text{ руб} \quad (5.6)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}}^{\text{кор}} = 15840 \cdot 30 \cdot \frac{7-5}{5} = 190080 \text{ руб} \quad (5.7)$$

Тогда общая экономия от защиты металлоизделий составит:

$$\mathcal{E}_{\text{с}}^{\text{к}} = \mathcal{E}_{\text{к}} + \mathcal{E}_{\text{ср}}, \text{ руб} \quad (5.8)$$

$$\mathcal{E}_{\text{с}}^{\text{к}} = 54900 + 71280 + 146400 + 190080 = 462660 \text{ руб} \quad (5.9)$$

Сумма косвенной экономии вычисляется по выражению:

$$\mathcal{E}_{\text{с}}^{\text{м}} = \mathcal{E}_{\text{с}}^{\text{св}} + \mathcal{E}_{\text{с}}^{\text{кор}}, \quad (5.10)$$

$$\mathcal{E}_{\text{с}}^{\text{м}} = 495852,5 + 116480 = 2595740 \text{ руб} \quad (5.11)$$

где $\mathcal{E}_{\text{с}}^{\text{св}}$, $\mathcal{E}_{\text{с}}^{\text{кор}}$ – экономия от сохранения продуктивности животных в свиарниках-откормочниках и коровниках молочного стада.

Экономия от исключения потерь продукции животных:

$$\mathcal{E}_{\text{с}} = M_{\text{с}} \cdot (n_{\text{н}} - n_{\text{с}}) \cdot D_{\text{г}} \cdot h_{\text{т}} \cdot \frac{1}{100} \cdot \text{Ц}_{\text{р}}^{\text{с}} \quad (5.12)$$

где $M_{\text{с}}$ – среднегодовое поголовье животных, голов;

$n_{\text{н}}$, $n_{\text{с}}$ – среднесуточный привес свиней по старой системе защиты от коррозии металлоизделий животноводческих помещений, кг/сут.;

$D_{\text{г}} = 365$ дней – количество дней в году;

$h_{\text{т}}$ – товарность продукции, %;

$\text{Ц}_{\text{р}}^{\text{с}}$ – реализационная цена единицы массы животного, руб/кг.

Отдельно по видам помещений:

$$\mathcal{E}_{\text{с}}^{\text{св}} = 200 \cdot \frac{(445-390)}{1000} \cdot 365 \cdot 95 \cdot \frac{1}{100} \cdot 130 = 495852,5 \text{ руб} \quad (5.13)$$

Аналогично по стаду крупного рогатого скота:

$$\mathcal{E}_{\text{с}}^{\text{кор}} = 200 \cdot (4560 - 4480) \cdot 91 \cdot \frac{1}{100} \cdot 8 = 116480 \text{ руб} \quad (5.14)$$

Стоимость защитных материалов $\mathcal{E}_{\text{ЗМ}}$ можно не учитывать, т.к. расход их относительно не значим, также оставляем на прежнем уровне затраты на использование защитных составов, как небольшую величину, но обязательную.

Тогда годовая экономия составит, руб:

– по свинару на 200 голов:

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_{\Gamma}^{\text{СВ}} &= \mathcal{E}_{\text{К}}^{\text{СВ}} + \mathcal{E}_{\text{С}}^{\text{СВ}} + \mathcal{E}_{\text{СР}}^{\text{СВ}} = \\ &= 54900 + 146400 + 495852,5 = 697152,5 \text{ руб}\end{aligned}\quad (5.15)$$

– по коровнику на 200 голов:

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_{\Gamma}^{\text{КОР}} &= \mathcal{E}_{\text{К}}^{\text{КОР}} + \mathcal{E}_{\text{С}}^{\text{КОР}} + \mathcal{E}_{\text{СР}}^{\text{КОР}} = \\ &= 71280 + 190080 + 116480 = 377840 \text{ руб}\end{aligned}\quad (5.16)$$

5.4 Выводы по разделу 5

1. Производственные испытания в условиях ООО «Рассвет» Рязанской области подтвердили результаты лабораторных исследований;
2. Контрольно-пусковое электрооборудование машин предпочтительнее размещать в отдельном, сухом, изолированном от общей атмосферы помещении.
3. Годовая экономия от внедрения результатов исследования составил:
 - по свинару на 200 голов 697152,5 рублей;
 - по коровнику на 200 голов 377840 рублей.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Установлено, что основными факторами, способствующими коррозии деталей машин и технологического оборудования ЖВК, являются повышенная влажность воздуха (90-95% в осенне-зимнее время), наличие в атмосфере помещений значительных концентраций вредных составляющих: аммиака – до 41 мг/м³, углекислого газа – до 0,36 %, сероводорода до – 9 мг/м³, сернистого ангидрида до 9 мг/м³.

Основными способами защиты от коррозии деталей машин и технологического оборудования ЖВК при эксплуатации являются:

- рациональное размещение, поддержание оптимальных климатических условий в помещениях;
- защита металлических поверхностей стойкими и эффективными покрытиями и улучшение их физико-механических свойств;
- своевременное восстановление поврежденных защитных покрытий с применением модификаторов ржавчины;
- регулярная очистка от технологических загрязнений и кормовых остатков;
- соблюдение правил хранения и эксплуатации.

Наиболее предпочтительным из изученных способов противокоррозионной защиты машин и оборудования ЖВК является метод нанесения на металл защитных составов, так как этот метод достаточно эффективен и доступен.

2. Выявлено, что наиболее коррозионно-активными компонентами атмосферы помещений, влияющими на коррозию деталей машин и технологического оборудования ЖВК, являются сернистый ангидрид и сероводород, а в составе кормовых остатков (комбикормов) – сера и хлор. Из перечня аминокислот, входящих в состав комбикормов, только лизин может проявлять незначительное ингибирующее действие.

Показано, что детали машин и оборудования животноводческих помещений подвержены практически всем видам коррозионных разрушений, из

которых наиболее опасными являются щелевая и местная коррозия. Зазоры размером 0,5-1,5 мм наиболее опасны для машин и оборудования при эксплуатации в условиях ЖВК. Местная коррозия, имея точечный характер разрушения, пронизывает металл насквозь и снижает механическую прочность детали.

3. Разработан состав для повышения стойкости деталей машин и технологического оборудования ЖВК к воздействию агрессивных компонентов атмосферы помещений и кормовых остатков, представляющий собой битумно-бензиновый раствор с улучшенными защитными свойствами за счет добавки олигомера Д-10ТМ. Ингибиторный эффект разработанного состава связан со свойством олигомера Д-10ТМ сместить электродный потенциал металла в область пассивации.

По результатам производственных испытаний этот способ внедрен в производство в ООО «Рассвет» Клепиковского района Рязанской области.

4. Экономический эффект от внедрения разработок в свинарнике на 200 голов составляет 697152,5, а в коровнике на 200 голов – 377840 руб/год.

Рекомендации производству. Для повышения эффективности противокоррозионной защиты машин и технологического оборудования ЖВК рекомендуется использовать битумно-бензиновую композицию с добавкой 5% по массе олигомера Д10ТМ.

Перспективы дальнейшей разработки темы. С целью снижения негативного воздействия атмосферы помещений ЖВК на машины и оборудование ЖВК, повышения надежности и срока службы пленок защитных составов необходимо продолжить исследования в данном направлении.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агафонов, А.И. Способ исключения ошибок измерений при корреляционном анализе результатов парных экспериментов / А.И. Агафонов, В.Е. Рязанов, С.А. Васильев // Дорожно-транспортный комплекс: состояние, проблемы и перспективы развития: мат. VI науч.-практ. конф. – Чебоксары, 2013. – С. 216-218.
2. Астанин, В.К. Композиционные покрытия на основе сплавов железа с никелем / В.К. Астанин, Ю.А. Стекольников, В.В. Емцев, Д.Г. Чурилов // В сборнике: Проблемы совершенствования машин, оборудования и технологий в агропромышленном комплексе: материалы международной научно-технической конференции, 2019. – С. 74-77.
3. Астанин, В.К. Наводороживание основного металла и хромовых покрытий / В.К. Астанин, Ю.А. Стекольников, Н.Ю. Стекольников, В.В. Емцев, Э.М. Санников // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2018. – № 2 (38). – С. 127-136.
4. А.с. СССР №1072914, Кл В 05 В 7/24, 1984.
5. Айманов, Р.Д. Разработка и защитные свойства ингибиторов сероводородной и углекислотной коррозии стали на основе азот- и фосфоросодержащей соединений: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.03 / Айманов Рустем Данирович; Казан. гос. технол. ун-т. – Казань, 2009. – 162 с.
6. Акимов, Г.В. Теория и методы исследования коррозии металлов / Г.В. Акимов – М.: Изд-во АН СССР, 1945. – 414 с.
7. Алцыбеева, А.Н. Ингибиторы коррозии металлов: справочник / А.Н. Алцыбеева, С.З. Левин – Л.: Изд-во «Химия», 1968. – 264 с.
8. Антонов, И.И. Обоснование ресурсосберегающей технологии хранения составных частей зерноуборочных комбайнов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: / Антонов Иван Ильич; ГОСНИТИ. – М., 1992. – 196 с.
9. Антропов, Л.И. Ингибиторы коррозии металлов / Л.И. Антропов, В.Ф. Панасенко, Е.М. Макушин – Киев: Техника, 1981. – 181 с.
10. Бахтеев, Ю.Д. Прогноз развития рынка сельскохозяйственной техники / Ю.Д. Бахтеев // Техника в сельском хозяйстве. – 2008. – № 1. – С. 36-37.

11. Бергман, Дж. Ингибиторы коррозии / Дж. Бергман – М.: Химия, 1966. – 310с.
12. Булавин, С.А. Совершенствование технологии приготовления и раздачи влажных мешанок / С.А. Булавин, Ю.В. Саенко // Техника в сельском хозяйстве. – 2007. – № 3. – С. 26-27.
13. 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.
14. Бышов, Н.В. Разработка нового средства для защиты сельскохозяйственных машин при хранении / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, И.А. Успенский, И.В. Фадеев // Техника и оборудование для села. – 2019. – №6 (264). – С. 38-42.
15. 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.
16. Вавилкин, Д.Ю. Обеспечение сохраняемости сельскохозяйственной техники путем подбора антикоррозионных материалов: автореферат дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Вавилкин Дмитрий Юрьевич; ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева». – Саранск, 2011. – 17 с.
17. Вигдорович, В.И. Антикоррозионные консервационные материалы / В.И. Вигдорович, И.Г. Насыпайко, В.Д. Прохоренков – М.: Агропромиздат, 1987. – 126 с.
18. Вигдорович, В.И. Новый консервационный состав / В.И. Вигдорович, В.Д. Прохоренков, А.Е. Сиволодский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1990. – №10. – С. 42.
19. Воронцов, А.П. Способы хранения и защиты от коррозии сельскохозяйственной техники в условиях степной зоны Украинской АССР: дисс. ...канд. техн. наук: 05.20.03 / Воронцов Анатолий Павлович. – Харьков, 1986.– 127 с.

20. Гайдар, С.М. Защита сельскохозяйственной техники от коррозии и износа с применением нанотехнологий: дисс. ...доктора техн. наук / Гайдар Сергей Михайлович. – М., 2011. – 433 с.

21. Главацкий, Г.Д. Исследование коррозионных разрушений изнашивания деталей силосоуборочных комбайнов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Главацкий Григорий Демьянович; ГОСНИТИ. – М., 1980. – 20 с.

22. Гончарова, О.А. Влияние летучего ингибитора ИФХАН-118 на электрохимическое и коррозионное поведение металлов / О.А. Гончарова, Н.В. Лавренкова, Н.Н. Андреев [и др.] // Коррозия: материалы, защита. – 2009. – №4. – С. 23-27.

23. Горло, В.В. Влияние атмосферных факторов на сохраняемость деталей машин в различных климатических зонах СССР / Труды ВНИТИ ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка. – М.: ГОСНИТИ, 1985. – С. 19-26.

24. ГОСТ 5272-68. Коррозия металлов. Термины. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 15 с.

25. ГОСТ 9.302-88. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы контроля. – М.: Изд-во стандартов, 1988 – 64 с.

26. ГОСТ 7751-2009. Техника, используемая в сельском хозяйстве. Правила хранения. М. : Стандартинформ, 2009. – 19 с.

27. Григорьев, Г.В. Обосновании технологии консервации и защиты от коррозии сельскохозяйственной техники микровосковыми составами в условиях агропромышленного комплекса Чувашской АССР: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.20.03 / Григорьев Георгий Витальевич; ГОСНИТИ. – М., 1987. – 18 с.

28. Григорьев, Д.А. Совершенствование технологического процесса антикоррозионной обработки сельскохозяйственной техники / Д.А. Григорьев, А.Д. Бровченко, Е.В. Пухов, И.А. Спицин // Современные научно-практические решения в АПК: сб. материалов международной науч.-практич. конференции. – Воронеж: ВГАУ им. императора Петра I, 2017. – С. 155-158.

29. Григорян, Н.С. Фосфатирование: учебное пособие для ВУЗов / Н.С. Григорян, Е.Р. Акимова, Т.А. Ваграмян – М.: Глобус, 2008. – 144 с.

30. Дашков, В.Н. Обоснование эксплуатационных методов повышения срока службы стационарного оборудования животноводческих ферм, подверженного коррозионному разрушению: дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Дашков Владимир Николаевич. – Минск, 1983. – 223 с.

31. Дашков, В.Н. Защита животноводческого оборудования от коррозии / В.Н. Дашков, Н.К. Макеев, И.Н. Хилько. – Минск: «Урожай», 1987. – 78 с.

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

33. Дорохов, А.В. Лакокрасочные покрытия для защиты сельскохозяйственной техники от коррозии / Л.Г. Князев, А.И. Петрашев, А.В. Дорохов, Н.А. Курьято, В.В. Клепиков // Наука в центральной России. – 2022. – №1 (55). – С. 118-134.

34. Дорохов, А.В. О проблемах защиты от атмосферной коррозии техники и оборудования в АПК / Л.Г. Князев, А.В. Дорохов, Н.А. Курьято, В.В. Сафонов // Научная жизнь. – 2021. – Т. 16. – №8 (120). – С. 1106-1117.

35. Дорохов, А.В. О коррозионных проблемах в сельскохозяйственном производстве / Л.Г. Князев, А.В. Дорохов, Н.А. Курьято // Наука в центральной России. – 2021. – № 5 (53). – С. 79-90.

36. Дорохов, А.В. Влияние агрессивных атмосфер животноводства на коррозию металлов / Л.Г. Князев, А.В. Дорохов, Н.А. Курьято, В.Д. Прохоренков // Наука в центральной России. – 2020. – № 1 (43). – С. 69-80.

37. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта: учебник / Б. А. Доспехов. – М.: Изд-во «Альянс», 2011. – 350 с.

38. Ефимов, И.А. Модифицированная технология консервации сельскохозяйственной техники составом ИВВС-706М / И.А. Ефимов, Е.А. Пучин [и др.] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1991. – № 4. – С. 45-47.

39. Жук, Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов / Н.П. Жук – М.: Металлургия, 1976. – 472 с.

40. Зими́на, Т. Чем опасен кислород в воде? / Т. Зими́на // Наука и жизнь. – 2006. – № 12. – С. 54-55.

41. Иванов, С.И. Автоматизированная система осушения воздуха в свинарнике / С.И. Иванов, С.В. Соловьев, О.А. Герасимова, В.И. Базыкин // АгроЭкоИнженерия. – 2022. – № 2 (111). – С. 146-156.

42. Измерение концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны: сборник методических указаний. МУК 4.1.0.272-4.1.0.340-96. – Выпуск 31. Минздрав России. Москва, 1999.

43. Ильин, В.К. Восстановление и упрочнение деталей сельскохозяйственной техники методами термодиффузионного насыщения: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Ильин Владимир Кузьмич; ФГОУ ВПО «Казанская сельскохозяйственная академия». – Казань, 2004. – 288 с.

44. Ильина, Э.Г. Влияние режима формирования на образование дефектов в полиэтиленовых покрытиях / Э.Г. Ильина // Лакокрасочные материалы и их применение. – 1983. – № 2. – С. 34.

45. Иофе З.А. Влияние сероводорода, ингибитора и pH на скорость электрохимической коррозии железа / З.А. Иофе, Фан Льюнг Кам // Защита металлов. – 1974. – №3. – С. 300-303.

46. Кадырметов, А.М. Перспективы применения покрытий на основе многокомпонентных высокоэнтропийных сплавов в машиностроении / А.М. Кадырметов, Д.А. Попов, Е.В. Снятков // В сборнике: Силовая энергетика и электроника перспективных автомобилей: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Отв. редактор В.И. Прядкин. Воронеж, 2021. – С. 36-39.

47. Карелина, М.Ю. Технология получения высокоэффективных водорастворимых ингибиторов коррозии на основе аминоспиртов / С.М. Гайдар, М.Ю. Карелина, Д.К. Хоанг, В.С. Ершов // СТИН. – 2021. – № 3. – С. 27-29.

48. Карелина, М.Ю. Исследования сырья растительного происхождения для синтеза ингибиторов коррозии с целью продления срока службы металлоконструкций и техники в условиях повышенной влажности / С.М. Гайдар, М.Ю. Карелина, Д.К. Хоанг, В.С. Ершов, А.А. Акулов, А.О. Волков // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2021. – № 1 (64). – С. 17-23.

49. Карелина, М.Ю. Разработка технологий получения высокоэффективных защитных материалов от атмосферной коррозии с использованием сырья растительного происхождения и фторсодержащих поверхностно-активных веществ: монография / С.М. Гайдар, М.Ю. Карелина, Д.К. Хоанг, Д.А. Птицын, А.А. Акулов,, В.С. Ершов. – М.: Изд-во МАДИ, 2021. – 165 с.

50. Карелина, М.Ю. Повышение долговечности и экономичности автотранспортных средств модифицированием соединений поверхностно-активными веществами и применением полифункциональных ингибиторов коррозии / С.М. Гайдар, М.Ю. Карелина // В сборнике: Инновационные технологии машиностроения в транспортном комплексе. Материалы XI Международной научно-технической конференции ассоциации технологов-машиностроителей. – 2020. – С. 140-144.

51. Карелина, М.Ю. Применение методов антикоррозионной обработки для увеличения срока службы кузовных деталей транспортного средства / М.Ю. Карелина, Т.Ю. Черепнина, А.И. Волкова // В сборнике: Организационно-экономические и инновационно-технологические проблемы модернизации экономики России. сборник статей 10-й Международной научно-практической конференции. – 2020. – С. 100-104.

52. Козлов, В.Г. Методы борьбы с коррозией металлов / В.Г. Козлов, И.В. Титова, А.Н. Коноплин, Н.Н. Булыгин // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 6. – С. 53-57.

53. Кольчик, И.Е. Усовершенствование технических решений водоиспарительных систем кондиционирования воздуха животноводческих помещений / И.Е. Кольчик, Н.Н. Новиков // Техника и технологии в животноводстве. – 2022. – № 1 (45). – С. 32-38.

54. Кравченко, И.Н. Принцип получения алюминиевых функциональных покрытий, армированных керамическими частицами / М.А. Марков, Д.А. Геращенко, И.Н. Кравченко, И.А. Жуков, А.Д. Быкова, Е.Ю. Геращенко, А.Н. Беляков, Ю.А. Кузнецов // Технология металлов. – 2021. – № 10. – С. 35-39.

55. Кравченко, И.Н. Исследование адгезии покрытий, полученных комбинированным способом на стальных поверхностях / Ю.А Кузнецов, И.Н. Кравченко, Д.Д. Яковлев, Т.А. Чеха // Технология металлов. – 2020. – № 5. – С. 11-17.

56. Кравченко, И.Н. Исследование толщины упрочненных слоев на покрытиях, полученных способами напыления / Ю.А Кузнецов, И.Н. Кравченко, Т.А. Чеха, Д.Т. Абдумуминова // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2020. – № 4. – С. 38-42.

57. Кравченко, И.Н. Модель критериальной оценки технических и технологических возможностей плазменных методов нанесения покрытий / Д.Т. Абдумуминова, Ш. Юлдашев, И.Н. Кравченко // В сборнике: Мавзусидаги анъанавий XIX – ёш олимлар, магистрантлар ва иқтидорли талабаларнинг илмий-амалий анжумани, 2020. – С. 443-448.

58. Кравченко, И.Н. Влияние температуры подложки на прочность сцепления плазменных покрытий / И.Н. Кравченко, Ю.В. Катаев, Т.А. Чеха // Сельский механизатор. – 2020. – № 3. – С. 30-31.

59. Кузнецов, Ю.И. Летучие ингибиторы коррозии атмосферной коррозии металлов на основе азометиков / Ю.И. Кузнецов, А.В. Агафонкин, О.О. Зель // Коррозия: материалы, защита. – 2009. – №4. – С. 17-23.

60. Кулик, С.Н. Влияние величины зазора на скорость щелевой коррозии автотракторной техники / Н.В. Бышов, И.А. Успенский, А.А. Цымбал, И.А. Юхин, И.В. Фадеев, Е.В. Митрохина, С.Н. Кулик // Известия АУК. – 2020. – № 2. – С. 328-337.

61. Кулик, С.Н. Влияние фосфатирования поверхности машин и оборудования животноводческих комплексов на физико-механические свойства лакокрасочных покрытий / С.Н. Кулик, В.П. Воронов // Современное состояние и перспективы развития механизации сельского хозяйства и эксплуатации транспорта: материалы национальной науч.-практич. конф., посвященной 95-летию д.т.н., профессора Александра Алексеевича Сорокина. – Рязань: Изд-во Рязанского государственного агротехнологического университета. – 2021. – С. 171-177.

62. Кулик, С.Н. Выбор системы покрытий лакокрасочных материалов для машин и оборудования животноводческих комплексов / И.В. Фадеев, Е.И. Степанова, С.Н. Кулик, В.П. Воронов // Развитие научно-ресурсного потенциала аграрного производства: приоритеты и технологии: материалы 1-ой национальной науч.-практич. конф. с международным участием, посвящённой памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова. – Рязань: Изд-во Рязанского государственного агротехнологического университета. – 2021. – С.

63. 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.

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

65. Кулик, С.Н. Получение ингибиторов коррозии черных металлов методом физико-химического анализа / И.А. Успенский, И.В. Фадеев, С.Н. Кулик, Ш.В. Садетдинов, Е.В. Митрохина // Вестник РГАТУ – 2020 – №2. – С. 90-96.

66. Кулик, С.Н. Улучшение защитных свойств противокоррозионной мастики / И.А. Успенский, И.В. Фадеев, А.И. Ушанев, С.Н. Кулик, Е.В. Митрохина // Вестник РГАТУ – 2020 – №2. – С. 96-101.

67. Лялякин, В.П. Использование электромеханической обработки для повышения прочности сцепления напыленных покрытий / В.П. Лялякин, Д.Б. Слинко, В.А. Денисов, Д.А. Добрин // Технология металлов. – 2022. – № 3. – С. 16-19.

68. Мазурова, Д.В. Одновременное фосфатирование стали, оцинкованной стали и алюминия / Д.В. Мазурова, Н.С. Григорон, Е.Ф. Акимова [и др.] // Коррозия: материалы, защита. – 2009. – №3. – С. 27-34.

69. Мальцев, Г.Н. Коррозия и защита оборудования от коррозии: учеб. пособие / Г.Н. Мальцев. Под ред. С.Н. Виноградова. – Пенза: Пенз. гос. ун-т, 2000. – 211 с.

70. Матошко, И.В. Защита сельскохозяйственной техники от коррозии / И.В. Матошко, К.Н. Библый. – М.: Колос, 1992. – 255с.

71. Меламед, М.Н. Хранение сельскохозяйственной техники в колхозах и совхозах / М.Н. Меламед, В.Е. Рязанов, В.Н. Никишев. – Чебоксары: Чувашкнигоиздат, 1982. – 72 с.

72. Миронова, Т.Ю. Экологический эффект от сокращения и утилизации навозосодержащих стоков доильного зала / Т.Ю. Миронова, В.Н. Миронов // Агроинженерия. – 2022. – Т. 24. № 5. – С. 47-51.

73. Морозов, Н.М. Направления механизации и автоматизации животноводства / Н.М. Морозов, Ю.А. Цой, В.В. Кирсанов, Л.М. Цой, Ю.А. Мирзоянц // Техника и технологии в животноводстве. – 2022. – № 1 (45). – С. 92-102.

74. Немцев, А.Е. Обеспечение работоспособности мобильной сельскохозяйственной техники на основе резервирования обменного фонда: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.03 / Немцев Анатолий Егорович; Сиб. НИИМиЭСХ. – Новосибирск, 1998. – 340 с.

75. Низамов, Р.К. Повышение сохраняемости сельскохозяйственной техники с использованием водорастворимых ингибиторов коррозии: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Низамов Руслан Каримович; Моск. гос. агроинженер. ун-т им. В.П. Горячкина. – М., 2013. – 203 с.

76. Николаев, В.Н. Полиэфируретандиметакрилатный олигомер Д-10ТМ и некоторые пути его практического применения / В.Н. Николаев, Д.Л. Кузьмин, И.В. Фадеев // Известия национальной академии наук и искусств Чувашской Республики. – 1999. – №4. – С. 138-170.

77. Николаев, В.Н. Совершенствование защитных свойств противокоррозионных материалов / В.Н. Николаев, И.В. Фадеев // Известия Национальной академии наук и искусств Чувашской Республики. – 1999. – № 4. – С. 171-173.

78. Новиков, А.Л. Противокоррозионная защита тонколистовых конструкций зерноуборочных комбайнов в условиях эксплуатации и ремонта: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Новиков Анатолий Леонидович; ГОСНИТИ. – М., 1984. – 175 с.

79. Новиков, Н.Н. Результаты экспериментальных исследований температурно-влажностных режимов в неотапливаемых коровниках с аэрацией в зоне умеренного климата / Н.Н. Новиков, Н.П. Мишуров // Техника и оборудование для села. – 2022. № 8 (302). – С. 22-26.

80. Павлов, В.С. Противокоррозионная защита оборудования птицеводческих комплексов :(На прим. клеточной батареи КБУ-3): дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Павлов Владимир Степанович; ГОСНИТИ. – М., 1994. – 173 с.

81. Павлов, И.А. Противокоррозионная защита молокоохладителей (на примере установок ТОМ-2А, SM-1200): дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Павлов Иосиф Александрович; ГОСНИТИ. – М., 1992. – 160 л.

82. Павлов, И.А. Битумные композиции для защиты от коррозии сельскохозяйственной техники / И.А. Павлов, И.П. Павлов, В.М. Сергеев // Международный научный журнал. – 2010. – №1. – С. 46-50.

83. Павлов И.А. Вопросы защиты от коррозии машин и оборудования животноводства в условиях эксплуатации / И.А. Павлов, В.Е. Рязанов, А.В. Чуриков //Материалы XLIII науч.-пр. конференции, часть 2. – Челябинск: Изд-во Челябинского ГАУ, 2004. – С. 30-34.

84. Павлов И.П. К оценке коррозионной стойкости машин кормоприготовительного комплекса ферм / И.П. Павлов, В.М. Сергеев, В.Е. Рязанов // Перспективные технологии с/х производства: Материалы Всеросс. науч.-пр. конференции, посвященной 80-летию профессора, докт. с/х наук, Заслуженного деятеля науки РФ М.И. Голдобина. – Чебоксары – РИО ФГОУ ВПО «ЧГСХА», 2008. – С. 276-277.

85. Павлов, И.П. Способ улучшения защитных свойств лакокрасочных материалов / И.П. Павлов, В.Е. Рязанов, И.В. Фадеев // Дорожно-транспортный комплекс: состояние, проблемы и перспективы развития: сб. материалов 7-й Межвузовской науч.-практ. конф. – Чебоксары, 2014. – С. 57-61.

86. Потенциостат-гальваностат / Комплект эксплуатационных документов. – Санкт-Петербург: НТФ «Вольта» НИИ «ХИМАНАЛИТ», 2010. – 46 с.
87. Поцкалев, А.Ф. Экономические проблемы хранения техники в колхозах и совхозах: дис. ... д-ра экон. наук / Поцкалев Александр Федорович; МИИСП. – М., 1982. – 422 с.
88. Прохоренков, В.Д. Консервация сельскохозяйственной техники для внесения минеральных удобрений / В.Д. Прохоренков, Л.Г. Князева, А.А. Ивайлов [и др.] // Техника в сельском хозяйстве. – 2007. – № 6. – С. 30-32.
89. Прохоренков, В.Д. Защита от коррозии сельскохозяйственной техники отработанными маслами / В.Д. Прохоренков, Л.Г. Князева, А.И. Петрашев // Техника в сельском хозяйстве. – 2006. – № 5. – С. 18-21.
90. Пухов, Е.В. Разработка технологии оценки качества нанесения восстанавливающих и упрочняющих порошковых покрытий термическим способом / Е.В. Пухов, В.К. Астанин, В.Л. Сидоренков // В сборнике: Проблемы ресурсообеспеченности и перспективы развития АПК: материалы национальной научно-практической конференции. Воронеж, 2021. – С. 45-48.
91. Пухов, Е.В. Обеспечение качества нанесения восстанавливающих и упрочняющих порошковых покрытий / Е.В. Пухов, В.К. Астанин, В.Л. Сидоренков // В сборнике: Проблемы ресурсообеспеченности и перспективы развития АПК: материалы национальной научно-практической конференции. Воронеж, 2021. – С. 48-51.
92. Пучин Е.А. Противокоррозионная защита сварных конструкций зерноуборочных комбайнов при эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Пучин Евгений Александрович; ГОСНИТИ. – М., 1988. – 176 с.
93. Пучин, Е.А. Модифицированные лакокрасочные покрытия / Е.А. Пучин, И.А. Ефимов, О.Н. Терновская // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1991. – № 10. – С. 36-37.
94. Пучин Е.А. О коэффициенте сопротивления частиц лакокрасочного материала в воздушном потоке. / Е.А. Пучин, И.А. Павлов, В.М. Сергеев, И. П. Павлов // Труды МГАУ, М.: МГАУ, 2010.
95. Расширенные тезисы докладов / Конгресс – «Защита-92», 6-11 сентября, Т.1, Т.2, Т.3. – М.: Изд-во «Нефть и газ» при ГАНГ им. Губкина.

96. РД-АПК 3.10.07.05-17. Ветеринарно-санитарные требования при проектировании, строительстве, реконструкции и эксплуатации животноводческих помещений. – М., 2017. – 82 с.

97. Рекомендации по расчету, проектированию и применению систем электротеплоснабжения животноводческих ферм и комплексов (утв. МСХ СССР 28 декабря 1982 г.). – М., 1982. – 8 с.

98. Ременцов, А.Н. Установление рациональной периодичности противокоррозионной обработки кузовов легковых автомобилей / А.Н. Ременцов, И.В. Фадеев // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2010. – №2. – С. 15-18.

99. Розенфельд, И.Л. Коррозия и защита металлов / И.Л. Розенфельд. – М.: Металлургия, 1970. – 448 с.

100. Розенфельд, И.Л. Атмосферная коррозия металлов / И.Л. Розенфельд. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 372 с.

101. Розенфельд, И.Л. Защита металлов от коррозии лакокрасочными покрытиями / И.Л. Розенфельд, Ф.И. Рубинштейн, К.А. Жигалова. – М.: Химия, 1987. – 224 с.

102. Розенфельд, И.Л. Ингибиторы атмосферной коррозии / И.Л. Розенфельд, В.П. Персианцева. – М.: Наука, 1985. – 278 с.

103. Розенфельд, И.Л. Антикоррозионные грунтовки и ингибированные лакокрасочные покрытия / И.Л. Розенфельд, Ф.И. Рубинштейн. – М.: Химия, 1980. – 200 с.

104. Розенфельд, И.Л. Ускоренные методы коррозионных испытаний металлов (теория и практика) / И.Л. Розенфельд, К.А. Жигалова. – М.: Металлургия, 1966. – 97 с.

105. Рязанов, В.Е. Защита машин и оборудования животноводства от коррозии / В.Е. Рязанов, А.Я. Орлов. – Чебоксары: Чувашкнигоиздат, 1982. – 88 с.

106. Рязанов, В.Е. Рекомендации по защите от коррозии машин и оборудования птицеводческих комплексов / В.Е. Рязанов, В.С. Павлов, А.И. Семенов. – Чебоксары: МСХ ЧАССР, 1989. – 64 с.

107. Рязанов, В.Е. Коррозия конструкционных материалов в атмосфере животноводческих комплексов / В.Е. Рязанов, Г.И. Яхваров // Защита металлов. – 1981. – №4. – С. 476-478.
108. Рязанов, В.Е. Коррозионно-электрохимическое поведение СтЗ в водных растворах комбикормов / В.Е. Рязанов, Г.И. Яхваров, Ю.К. Волков // Защита металлов. – 1982. – №2. – С. 235-237.
109. Рязанов В.Е. Исследование коррозионно-механического износа деталей кормораздатчиков / В.Е. Рязанов, Г.И. Яхваров, Г.В. Григорьев // Вопросы земледельческой механики: Тезисы докладов. – М.: ВИМ, 1978.
110. Рязанов, В.Е. Основы научных исследований и патентования: учебное пособие / В.Е. Рязанов, М.А. Ершов. – Чебоксары: ФГБОУ ВПО ЧГСХА, 2011. – 247 с.
111. Самарин, В.А. Физико-химические основы энергосберегающих систем кондиционирования воздуха в животноводческих помещениях / В.А. Самарин, Г.В. Макарова, В.Н. Фомин [и др.] // Техника в сельском хозяйстве. – 2007. – № 2. – С. 38-39.
112. Самарин, В.А. Энергосберегающая система оптимального микроклимата в животноводческих помещениях / В.А. Самарин, Г.В. Макарова, В.Н. Фомин [и др.] // Техника в сельском хозяйстве. – 2007. – № 3. – С. 30-31.
113. Северный А.Э. Система рационального хранения сельскохозяйственной техники: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.20.03 / Северный, Альберт Эдуардович; – М.: ГОСНИТИ, 1988.
114. Северный, А.Э. Хранение сельскохозяйственной техники / А.Э. Северный. – М.: Россельхозиздат, 1980. – 127 с.
115. Северный, А.Э. Справочник по хранению сельскохозяйственной техники / А.Э. Северный, А.Ф. Поцкалев, А.Л. Новиков. – М.: Колос, 1984. – 224 с.
116. Северный, А.Э. Практикум по хранению и защите от коррозии сельскохозяйственной техники: учебно-методические рекомендации / А.Э. Северный, Е.А. Пучин, В.Е. Рязанов [и др.]. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 160 с.

117. Сергеев, В.М. Защитные свойства составов на битумной основе / В.М. Сергеев, И.П. Павлов, В.Е. Рязанов // Перспективные технологии с/х производства: Материалы Всеросс. науч.-пр. конференции, посвященной 80-летию профессора, д. с/х наук, заслуженного деятеля науки РФ М.И. Голдобина. – Чебоксары: РИО ФГОУ ВПО «ЧГСХА», 2008. – С. 281-283.

118. Сидорова, В.Ю. Оптимизация фронта кормления при откорме мясного скота / В.Ю. Сидорова, Е.Б. Петров // Техника и технологии в животноводстве. – 2022. – № 1 (45). – С. 4-8.

119. Смирнов, А.Г. Противокоррозионная защита машин и оборудования хмелеводства: дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Смирнов Анатолий Германович; – Чебоксары: ФГОУ ВПО «Чувашская ГСХА», 2003.

120. Спиридонова, А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологического процесса / А.А. Спиридонова. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.

121. Терновская, О.Н. Противокоррозионная защита дождевальной техники при ремонте и хранении (на примере двухконсольного дождевального аппарата ДДА-100МА): дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Терновская Ольга Николаевна; – М.: ГОСНИТИ, 1993.

122. Тищенко, М.А. Машинно-технологическая модернизация кормовых линий на фермах крупного рогатого скота / М.А. Тищенко // Техника в сельском хозяйстве. – 2008. – № 4. – С.13-16.

123. Томашов, Н.Д. Атмосферная коррозия металлов / Н.Д. Томашов // Исследования по коррозии металлов: Труды ИФХ АН СССР, Т.6. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – С. 14-60.

124. Томашов, Н.Д. Теория коррозии металлов / Н.Д. Томашов. – М.: Металлургия, 1957. – 260 с.

125. Улиг, Г.Г. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику / Г.Г. Улиг, Р.У. Ревин; пер. с англ. под ред. А.М. Сухотина. – Л.: Химия, 1989. – 456 с.

126. Фадеев, И.В. Улучшение защитных свойств противокоррозионного материала «Пластизоль Д-11 А» / И.В. Фадеев, В.Н. Николаев // Тезисы научной

конференции молодых ученых, аспирантов и студентов научно-образовательных центров КГУ. Тезисы докладов. – Казань: Изд-во КГУ, 2000. – С. 35-36.

127. Фадеев И.В. Состав для защиты кузовов легковых автомобилей от коррозии / И.В. Фадеев, В.Е. Рязанов // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: материалы 67-ой научно-методической и научно-исследовательской конференция МАДИ (ГТУ). Сборник научных трудов. – М., 2009.

128. Фадеев, И.В. Исследование влияния компонентов агрессивной среды дорожного полотна на коррозию днища кузова легкового автомобиля: дис. ... канд. техн. наук: 05. 22. 10 / Фадеев Иван Васильевич; – М.: МАДИ, 2010. – 222 с.

129. Фадеев, И.В. Аммиак – ингибитор коррозии черных металлов / И.В. Фадеев // Известия Международной академии аграрного образования – 2016. – №26. – Т. 1. – С. 21-24.

130. Фадеев, И.В. Повышение коррозионной стойкости стали 10 / И.В. Фадеев, Ш.В. Садетдинов // Вестник МАДИ. – 2015. – Вып. 2(41). – С. 107-114.

131. Филонов, Р.Р. Особенности технологий гальванических покрытий применяемых при защите автомобильной техники от коррозии / Р.Р. Филонов, В.В. Емцев, А.В. Тылик, В.К. Астанин // В сборнике: Теория и практика инновационных технологий в АПК: материалы национальной научно-практической конференции. Воронеж, 2021. – С. 368-371.

132. Цыпленков, М.В. Разработка роботизированного кормораздатчика для обеспечения сбалансированного рациона кормления крупного рогатого скота / М.В. Цыпленков, И.М. Довлатов // Агротехника и энергообеспечение. – 2022. – № 3 (36). – С. 59-68.

133. Шалавина, Е.В. Методика расчета распределения общего азота и общего фосфора между фракциями свиного навоза / Е.В. Шалавина, Р.А. Уваров, Э.В. Васильев // Инженерные технологии и системы. – 2022. – Т. 32. № 1. – С. 54-70.

134. 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. 89-91.

135. Эванс, Ю.Р. Коррозия. Пассивность и защита металлов / Ю.Р. Эванс; пер. с англ. под ред. Г.В. Акимова. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1941. – 886 с.

136. Юхневич, Р. Техника борьбы с коррозией / Р. Юхневич, Е. Валашовский, А. Видуховский [и др.] пер. с польск. под ред. А.М. Сухотина. – Л.: Химия, 1978. – 394 с.

137. Яхваров, Г.И. Влияние аминокислот комбикормов на коррозию железа «Армко» и стали Ст3 в растворах хлористого натрия / Совершенствование машин и оборудования, применяемых в животноводстве: Сборник научных трудов. Горький: Изд-во Горьковского СХИ, 1983. – С. 23-28.

138. Brigham R.J. A general model for service corrosion initiation / R.J. Brigham // CIM Bull. – 1989. – №926. – 99 p.

139. Amirudin A. Corrosion mechanism of phosphate zinc layers on steel as substrates for automotive coatings / A. Amirudin, D. Jherry // Prog. Org. coat. – 1996, V. 28, no. 1. – pp. 54-75.

140. Astanin V.K., Pukhov E.V., Emtsev V.V., Golikova O.A., Stekolnikov Y.A. Hardening parts by chrome plating in manufacture and repair: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, P. 032008.

141. Dorokhov A.V., Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Kur'yato N.A. Protective efficiency of oil compositions with cortec VPCI-368D // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition, 2021, T. 10, №2, P. 551-561.

142. Dorokhov A.V., Tsygankova L.E., Uryadnikov A.A., Knyazeva L.G., Shel N.V., Rodionova L.D. Protection of steel with a superhydrophobic coating against atmospheric corrosion in conditions of livestock buildings // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition, 2021, T. 10, №4, P. 1638-1645.

143. Karelina M.Yu., Gaidar S.M., Petrovskiy D.I. Increasing of corrosion resistance for metal products of livestock premises, Solid State Phenomena, 2021, T. 316, pp. 758-764. (Повышение коррозионной стойкости металлических изделий животноводческих помещений)

144. Karelina M.Yu., Gaidar S.M., Ershov V.S., Quang H.D. Production of effective water-soluble corrosion inhibitors based on amino alcohols, *Russian Engineering Research*, 2021, T. 41, № 6, pp. 558-560. (Производство эффективных водорастворимых ингибиторов коррозии на основе аминоспиртов)

145. Knaster M. Mechanism of corrosion and delamination of painted phosphated steel during accelerated corrosion testing / M. Knaster, J. Parks // *J. of coatings technology*. – 1986, V. 58. no. 738. – pp. 31-39/

146. Kravchenko I.N., Kartsev S.V., Velichko S.A., Kuznetsov Yu.A., Pastukhov A.G. Effect of component surface preparation on coating adhesive strength during plasma spraying, *Refractories and Industrial Ceramics*, 2021, T. 62, № 2, pp. 168-174.

147. Leidheiser H. Jr. Mechanism of de-adhesion of organic coatings from metal surfaces / H.Jr. Leidheiser // *ACS Symp. Ser.* – 1986. – 322 (*Polym. Mater. Corros control*). – pp. 124-125.

148. Mikrobiologiczna korozja metali / Cwalina Beata. Pzierzewicz Zofia, Zawada Zygmunt, Wilczok Tadeusz // *Post. mikrobiol.* – 1988. – V. 27, no. 4. – pp. 299-305.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(СПРАВОЧНОЕ)

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕННЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение состояния вопроса. Постановка цели и задачи

Факторы, влияющие на сохранность машин и оборудования ЖВК и ферм

Методы повышения уровня сохраняемости машин и оборудования ЖВК и ферм

Разработка рабочей программы и методики исследований. Выбор объектов и материалов

Теоретические исследования

Лабораторные исследования

Производственная проверка

Исследование характера протекания коррозии в условиях ЖВК и ферм

Разработка математических моделей исследования

Влияние на коррозию металлов атмосферы помещений и влажных местонахождений

Электрохимические исследования коррозии

Долговечность покрытий

Влияние компонентов на волопоглощение покрытий

Адгезия покрытий к подложке

Кинетика коррозии металлов

Кинетика коррозии металлов в атмосфере ЖВК и ферм

Защитные свойства ЛКП, битумных составов на образцах и поверхностях машин и оборудования

Технико-экономические показатели косвенного ущерба от коррозии металлов по отказам изделий

Экономическая оценка разработанных мероприятий

Рисунок А1 – Общая методика исследований

Таблица А1 – 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	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					

$$\sum S_j^2 =$$

где $\bar{y}_j = \frac{\sum Y_i}{m}$ – среднее значение построчных выходов

$S_j^2 = \frac{1}{m-1} \sum (y_i - \bar{y}_j)^2$ – дисперсия средних построчных выходов

m – количество построчных выходов

Таблица А2 – Результаты экспериментов по обоснованию количества параллельных образцов и измерений для основных экспериментов

№№ образцов	Размеры, см		Масса образцов, г		Коррозионные потери, г	Коррозионные потери, г/м ² ·год
	<i>a</i>	<i>b</i>	до эксперимента	после эксперимента		
1	3,00	10,00	46,6401	46,6245	0,01550	433
2	3,01	10,00	47,0045	46,9889	0,01560	433
3	3,01	9,99	46,9834	46,9673	0,01605	448
4	3,00	10,00	47,1034	47,0864	0,01692	475
5	3,00	10,01	46,6334	46,6179	0,01550	433
6	3,00	9,99	46,4112	46,3957	0,01550	476
7	2,99	10,01	47,2577	47,2407	0,01700	475
8	2,99	10,01	47,2588	47,2448	0,01405	392
9	3,00	10,00	46,6391	46,6251	0,01400	392
10	3,00	10,01	46,6334	46,6188	0,01460	408
11	3,00	10,00	46,9834	46,8198	0,16355	379
12	2,99	10,01	47,0055	46,9905	0,01495	408
13	2,99	10,01	46,9985	46,9841	0,01450	406
14	3,01	10,00	46,5276	46,5111	0,01660	464
15	3,00	10,00	41,4579	41,4413	0,01660	466
16	3,01	9,98	47,1375	47,1215	0,01605	449
17	3,01	9,99	47,1001	47,1765	0,01350	377
18	3,00	10,00	47,2021	47,1875	0,01450	406
19	2,99	10,01	47,1171	47,1025	0,01450	449
20	2,98	10,02	47,1985	47,1970	0,00150	422
21	2,99	10,01	47,2765	47,2609	0,01552	435
22	3,00	10,00	46,6760	46,6609	0,01505	421
23	3,00	10,00	46,7061	46,6905	0,01555	435
24	3,00	10,00	46,4998	46,4837	0,01605	450
25	2,99	10,00	46,8975	46,3805	0,51700	477
26	2,99	10,01	47,0131	46,9970	0,01615	450
27	3,00	10,00	46,6544	46,6374	0,01700	476
28	3,00	10,01	46,7054	46,5399	0,16545	463
Итого						11763
Средние коррозионные потери						420,1

Таблица А3 – Коррозионные потери стали Ст3 в растворах хлорида натрия

Концентрация раствора	№№ образца	Размеры образцов		Масса образцов, г		Расчетные годовые потери массы образцов, г/м ² ·год		Характеристика по вариантам	
		длина, а	ширина, в	до эксперимента	после эксперимента	каждого образца	средние по вариантам	S, см	ϑ
1	1	10,00	3,00	46,5880	46,4213	265,85	245,70	27,41	0,116
	2	9,99	3,00	46,7802	46,6575	260,70			
	3	10,02	3,01	46,4902	46,2588	216,42			
	4	10,00	3,01	46,3889	46,2588	270,15			
	5	9,98	3,00	46,6390	46,5483	215,39			
3	6	10,01	3,00	46,6334	46,2606	504,75	572,09	38,63	0,068
	7	10,01	3,00	46,6400	46,1535	587,15			
	8	9,99	3,01	46,9834	46,4943	588,85			
	9	10,00	3,01	47,0045	46,4951	602,41			
	10	10,01	3,00	47,1034	46,6304	577,30			
5	11	9,98	3,00	46,9985	44,6984	1370,10	1572,76	133,53	0,085
	12	9,98	3,01	46,9870	44,5276	1416,05			
	13	10,00	3,01	46,4580	43,5706	1540,95			
	14	10,01	2,99	47,1875	46,8998	1560,30			
	15	10,00	2,99	46,1900	46,1327	1405,20			
7,5	16	10,00	3,00	46,2015	45,6641	2260,05	1966,26	211,99	0,108
	17	10,01	3,00	46,3170	45,9775	1826,79			
	18	9,99	3,01	46,9980	46,6765	1733,65			
	19	9,99	3,01	47,0244	46,6367	2090,15			
	20	10,00	3,01	47,0157	46,6608	1920,48			

Примечание. Толщина образцов с=2 мм. В таблице 4.5 принята следующая символика: S – среднеквадратическое отклонение выходов по вариантам; ϑ – коэффициент вариации по вариантам.

Таблица А4 – Коррозия стали Ст3 в растворах, имитирующих атмосферные условия животноводческих помещений

№№ образцов	Размеры образцов, см		Площадь рабочей поверхности образца, см ²	Масса образцов, г		Коррозионные потери металла, г/м ² ·мес. (720 ч)	Характеристики вариационных рядов
	длина	ширина		до экспозиции	после экспозиции		
<i>Свинарник</i>							
51	10,02	3,01	65,5324	46,3101	45,6277	104,116	$n = 10$ членов $\bar{K} = 100,33$ $S^2 = 12,6903$ $S = 3,9624$ $\vartheta = 0,0356$ Совокупность подчиняется закону нормального распределения
52	10,01	3,01	65,4632	47,0017	46,3261	103,202	
53	10,00	2,98	64,7920	47,0815	46,4453	98,293	
54	9,98	3,00	65,0720	47,2034	45,5340	102,870	
55	9,99	3,01	65,3398	46,5534	45,8381	101,822	
56	10,00	3,00	65,2000	46,5223	45,8948	94,325	
57	10,00	3,00	65,4040	46,5454	45,9229	94,214	
58	10,00	3,02	65,6080	46,3578	45,6852	102,519	
59	10,01	3,01	65,2640	47,0505	46,3416	101,649	
60	10,00	3,00	65,4040	46,3466	45,6912	100,216	
<i>Коровник</i>							
61	10,00	3,01	65,4980	47,0015	46,3983	94,229	$n = 10$ членов $\bar{K} = 89,47$ $S^2 = 10,6100$ $S = 3,2573$ $\vartheta = 0,0364$ Совокупность подчиняется закону нормального распределения
62	10,02	3,00	65,3800	46,8802	46,2866	90,800	
63	10,00	3,00	65,2000	46,3466	45,2794	86,200	
64	10,00	2,99	65,9960	46,9071	46,3701	82,620	
65	9,99	3,01	65,3398	46,3080	45,7323	88,109	
66	9,98	3,02	65,5440	46,2631	45,6652	91,710	
67	9,97	3,03	65,6182	46,6631	46,0758	89,503	
68	10,00	3,00	65,4040	46,6581	45,0680	90,216	
69	10,01	3,01	65,4682	46,6631	46,0784	89,379	
70	10,00	3,00	65,2640	47,0011	46,4043	91,424	

Таблица А5 – Результаты исследование влияния составляющих атмосферы на коррозию конструкционных материалов и статистический расчет

Вариант	Результаты опытов, г/м ³ в сутки			Средняя коррозион ная потеря \bar{y}	Построчная дисперсия S_j^2	Выход по полученному уравнению регрессии \hat{y}	$\frac{(\bar{y} - \hat{y})^2}{\bar{y}}$
	y_1	y_2	y_3				
1	1,336	1,320	1,331	1,329	0,006519	1,435	0,019458
2	1,137	1,120	1,136	1,131	0,009539	1,037	0,010229
3	1,302	1,305	1,332	1,313	0,016553	1,378	0,002171
4	1,259	1,253	1,227	1,246	0,016523	1,103	0,016412
5	1,180	1,148	1,152	1,160	0,017436	1,411	0,054311
6	1,096	1,095	1,064	1,085	0,018193	0,913	0,027266
7	1,400	1,300	1,399	1,343	0,011269	1,469	0,001146
8	1,209	1,212	1,194	1,205	0,009643	1,103	0,008634
9	1,276	1,303	1,279	1,281	0,016216	1,359	0,004144
10	1,272	1,200	1,200	1,224	0,041567	1,097	0,013177
11	1,290	1,299	1,276	1,289	0,011619	1,461	0,022951
12	1,440	1,432	1,391	1,421	0,026287	1,199	0,034682
13	1,123	1,105	1,080	1,112	0,024433	1,271	0,022734
14	1,128	1,144	1,184	1,152	0,038367	1,009	0,017751
15	1,207	1,166	1,115	1,146	0,050408	1,273	0,014074
16	1,288	1,270	1,276	1,278	0,009165	1,369	0,00648
				$\sum S_j^2 = 0,32537$	Сумма 0,278621		

Таблица А6 – Математическая обработка результатов исследования коррозии черных металлов в атмосфере свиарников и коровников

Продолжительность экспозиции (часы)	Коррозионные потери металла, К, г/м ² ·год			Среднее значение	Дисперсия, S ²	Среднеквадратическое отклонение, S	Коэффициент вариации, ϑ
1	2			3	4	5	6
<i>Атмосфера свиарника</i>							
<i>Сталь Ст3</i>							
1 (730)	97,00	98,07	97,73	97,60	0,2989	0,5467	0,0056
3 (2190)	249,89	235,28	220,00	235,05	123,3905	11,1081	0,0476
6 (4380)	360,03	369,70	354,99	361,57	55,8824	7,4754	0,0206
9 (6570)	470,96	462,42	450,00	461,12	111,9778	10,5819	0,0229
12 (8760)	570,01	568,75	567,75	568,84	1,2826	1,1325	0,0020
18 (13140)	752,14	783,33	786,20	773,89	56,8558	18,8906	0,0244
<i>Сталь 45</i>							
1 (730)	71,00	75,24	87,05	76,76	44,3160	6,6570	0,0867
3 (2190)	139,39	149,31	142,73	143,81	39,8750	6,3147	0,0440
6 (4380)	280,00	269,99	264,63	271,54	60,8611	7,8013	0,0287
9 (6570)	370,00	385,00	385,29	380,10	76,4780	8,7952	0,0230
12 (8760)	450,09	456,54	473,19	462,94	121,1330	11,0061	0,0238
18 (13140)	590,62	586,00	600,00	592,67	105,3467	10,2638	0,0172
<i>Сталь 65Г</i>							
1 (730)	69,94	74,47	65,39	69,93	42,8561	6,5464	0,0614
3 (2190)	146,76	140,00	135,00	140,59	34,8325	5,9019	0,0420
6 (4380)	230,00	221,02	223,00	224,67	22,2602	4,7180	0,0704
9 (6570)	269,40	275,00	249,00	264,63	189,8034	13,7769	0,0521
12 (8760)	331,36	331,36	340,00	334,24	24,8832	4,9883	0,0149
18 (13140)	410,00	413,06	414,66	412,55	5,6329	2,3733	0,0057

1	2			3	4	5	6
<i>Атмосфера коровника</i>							
<i>Сталь Ст3</i>							
1 (730)	90,24	91,01	101,00	94,08	39,5984	6,2927	0,0660
3 (2190)	190,00	205,00	220,00	205,00	225,0000	15,000	0,0732
6 (4380)	335,00	340,00	342,00	339,00	13,0000	3,6055	0,0106
9 (6570)	455,90	444,65	464,97	455,17	103,6216	10,1795	0,0224
12 (8760)	540,95	515,54	559,20	538,90	206,0450	14,3543	0,0315
18 (13140)	682,00	690,00	676,05	682,68	49,0009	7,0000	0,0102
<i>Сталь 45</i>							
1 (730)	57,68	63,98	63,95	61,87	13,0041	3,6061	0,0583
3 (2190)	127,97	130,06	136,00	131,34	12,1517	3,4859	0,0265
6 (4380)	242,23	241,78	228,00	237,67	65,5973	8,0992	0,0334
9 (6570)	300,59	320,00	325,00	315,20	166,2660	12,8944	0,0409
12 (8760)	442,00	431,00	435,00	436,00	31,5000	5,6125	0,0129
18 (13140)	550,00	560,00	539,00	549,67	10,3335	3,2410	0,0058
<i>Сталь 65Г</i>							
1 (730)	60,16	60,04	61,93	60,71	1,1199	1,0582	0,0174
3 (2190)	130,96	124,64	140,00	131,87	59,9895	7,7200	0,0551
6 (4380)	201,15	210,00	222,00	211,05	119,9075	10,9502	0,0519
9 (6570)	239,00	249,00	229,00	239,00	100,0000	10,0000	0,0437
12 (8760)	305,67	319,82	297,00	307,50	57,6906	1,5954	0,0052
18 (13140)	405,00	411,00	409,00	408,33	6,1301	2,4759	0,0060

Таблица А7 – Статистическая обработка результатов исследования коррозии черных металлов в атмосфере свинарников и коровников

Продолжительность экспериментов, мес.	Материал	Коррозионные потери металла, г/м ² ·год	Уравнение регрессии	\hat{k}	Относительное расхождение \hat{k} от k , %
<i>Атмосфера свинарника</i>					
3	Ст3	235	$k = 111,71 \cdot T^{0,6593}$	230	0,17
6		361		364	
9		461		476	
12		569		575	
18		774		751	
3	Сталь 45	143	$k = 62,25 \cdot T^{0,7998}$	150	0,33
6		271		261	
9		380		361	
12		462		454	
18		592		628	
3	Сталь 65Г	140	$k = 73,51 \cdot T^{0,5997}$	142	0,00
6		224		215	
9		264		275	
12		334		326	
18		412		416	
<i>Атмосфера коровника</i>					
3	Ст3	205	$k = 99,65 \cdot T^{0,6764}$	210	0,13
6		339		335	
9		455		440	
12		539		535	
18		683		704	
3	Сталь 45	131	$k = 54,44 \cdot T^{0,8124}$	133	0,09
6		238		233	
9		315		324	
12		436		410	
18		549		570	
3	Сталь 65Г	132	$k = 67,10 \cdot T^{0,6138}$	132	0,19
6		211		202	
9		239		258	
12		308		308	
18		408		395	

Таблица А8 – Результаты исследования коррозии металлов в водных растворах комбикормов

№ об раз ца	Размеры образцов, см ²		Рабочая поверхность, см ²	Масса образцов, г			Коррозия, г/м ² ·год
	длина	ширина		До экспери мента	После экспери мента	Коррози онные потери	
<i>Сталь Ст3</i>							
1	10,01	2,98	64,3556	46,36150	46,34745	0,01405	266
2	10,00	2,99	64,9960	46,36015	46,34635	0,01380	258
3	9,94	3,01	65,3398	46,38435	46,37085	0,01350	251
4	10,00	3,00	65,1360	46,24050	46,22605	0,01445	270
5	10,01	3,00	65,2604	46,98015	46,96635	0,01380	258
<i>Сталь 45</i>							
6	9,98	3,01	65,2756	46,35825	46,34575	0,01250	233
7	9,99	3,00	65,3398	46,15735	46,14415	0,01320	246
8	10,00	3,00	65,4040	47,00155	46,98875	0,01280	238
9	10,00	3,00	65,4046	46,27305	46,26080	0,01225	228
10	10,01	2,99	65,0595	46,98345	46,97140	0,01205	225
<i>Сталь 65Г</i>							
11	10,00	3,02	65,6030	47,12035	47,11060	0,00975	182
12	10,00	3,00	65,2000	47,25335	47,24430	0,00905	170
13	10,01	3,00	65,2640	46,45135	46,44355	0,00780	145
14	9,91	3,00	64,6240	46,45135	46,44335	0,00800	151
15	10,00	3,00	65,2000	46,50305	46,49355	0,00950	177

Таблица А9 – Результаты испытаний защитных покрытий, нанесенных на поверхности мобильного раздатчика, % от контрольной поверхности

Срок исследования, сутки	Битумно-бензиновый раствор (контроль)			Битумно-бензиновый Раствор + масло дизельное			Битумно-бензиновый раствор + НГ-203А			Битумно-бензиновый раствор + АКОР-1			Битумно-бензиновый раствор + Д-10ТМ		
	Пузыри	Отслаивание	Очаги коррозии	Пузыри	Отслаивание	Очаги коррозии	Пузыри	Отслаивание	Очаги коррозии	Пузыри	Отслаивание	Очаги коррозии	Пузыри	Отслаивание	Очаги коррозии
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
96	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
144	> 5	1	1-2	0,5-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
168		1,5	3-4	1-1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
192		> 2	4	1,5-2	1-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
216			5	> 2	2-3	1-2	1-2	1-2	1-2	0	0	0	0	0	0
240			> 5		3,5-4	2-3	2-3	2-3	2-3	0	1-2	1-2	0	0	0
264					5	3-4	3-4	3-4	3-4	1-2	2-3	2-3	0	0	1-2
288					> 5	До 5	5	4-5	До 5	2-3	3-4	3-4	1-2	1-2	2-3
312						> 5	> 5	> 5	> 5	4-5	4-5	4-5	2-3	2-3	3-4
336										> 5	> 5	> 5	4-5	3-4	До 5
360													> 5	4-5	> 5
384														> 5	
408															

Приложение Б
(справочное)

Документы о внедрении результатов выполненных научных исследований

УТВЕРЖДАЮ

Директор ООО «Рассвет»
А.М. Ростилев

«14» ноября 2022 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы Кулика Сергея Николаевича на тему: «Совершенствование противокоррозионной защиты машин и оборудования животноводческих комплексов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

Мы, нижеподписавшиеся, директор ООО «Рассвет» Ростилев А.М. и механик ООО «Рассвет» Федюлин М.Н. составили настоящий акт в том, что результаты диссертационной работы Кулика Сергея Николаевича на тему: «Совершенствование противокоррозионной защиты машин и оборудования животноводческих комплексов» внедрены в производство для защиты от коррозии машин и технологического оборудования животноводческих комплексов в процессе эксплуатации и хранения в ООО «Рассвет» (391007, Рязанская область, Клепиковский район, с. Давыдово).

Использование разработанной автором многокомпонентной противокоррозионной композиции на основе битумно-бензиновой смеси с добавкой олигомера Д-10ТМ концентрацией 5% по массе позволило повысить противокоррозионную стойкость обработанных поверхностей машин и технологического оборудования животноводческих комплексов в процессе эксплуатации и хранения на 40% в сравнении с ранее применяемым битумно-бензиновым составом, что в конечном итоге положительно повлияло на повышение качества работы и ресурса машин и технологического оборудования, а также сокращение материальных и трудовых затрат на их эксплуатацию, ремонт и хранение.

Директор ООО «Рассвет» _____ А.М. Ростилев

Механик _____ М.Н. Федюлин

«14» ноября 2022 г.