

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань – 2023

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

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Фадеев Иван Васильевич

**Официальные
оппоненты**

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

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

**Ведущая
организация:**

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

Защита диссертации состоится «05» июля 2023 года в 10.00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.031.01 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по адресу 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, зал заседаний диссертационного совета.

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

Автореферат разослан «__» _____ 2023 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

доктор технических наук, профессор



Юхин Иван Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Коррозия – это разрушение металлов вследствие химического или электрохимического взаимодействия их с коррозионной средой. В последнее время под коррозией понимают сложный физико-химический процесс: в ее основе лежит электрохимическое (а не химическое, как считали прежде) растворение металлов и сплавов. Она является одним из наиболее распространенных и опасных видов разрушения металлоизделий. Потери от коррозии во всем мире продолжают оставаться огромными. Она способствует не восстанавливаемой потере металла, приводит к нарушению технологического процесса производства продукции из-за не прогнозируемого 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. Их действие снижает ресурс изделий. В большинстве случаев коррозионный износ превышает величину механического износа от применения машин по функциональному назначению. 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.

Решение вопроса защиты металлов от коррозии особенно важно в условиях животноводческих комплексов (ЖВК) и ферм. Здесь среда наиболее агрессивна: относительная влажность воздуха (на уровне 65-80%, в холодное время года доходит 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. В пленке влаги легко растворяются различные загрязнения с образованием электролитов, активизирующих процессы разрушения защитных и лакокрасочных покрытий деталей, а также коррозии металлоизделий и

снижения их механической прочности. В стыках и зазорах (резьбовые соединения, места соединения деталей и т.п.) ускоряются процессы щелевой коррозии.

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. 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. Улучшению их физико-механических свойств придают большое значение. 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 от коррозии машин и оборудования ЖВК занимались и занимаются российские и зарубежные ученые Дашков В.Н., Вигдорович В.И., Северный А.Э., 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 другие.

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, 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 странице, включает 42 таблицы и 50 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе «Аналитический обзор состояния вопроса» проведен обзор и анализ рассматриваемого в диссертации вопроса коррозии и защиты от коррозии машин и оборудования ЖВК и ферм. Выявлены основные факторы, влияющие на срок службы машин и технологического оборудования животноводства, приведена классификация видов их коррозии, проанализированы научные исследования в области борьбы с коррозией, способы защиты от коррозии, их недостатки и преимущества, рассмотрены агрессивные составляющие атмосферы ЖВК и ферм и их влияние на коррозионную стойкость деталей машин и оборудования, обоснован выбор объекта и предмета исследований.

Машины и оборудование для механизации трудоемких процессов в животноводстве имеют наименьший срок службы среди различных машин и технологического оборудования АПК, основной причиной которого является разрушение лакокрасочного и защитного покрытий и повышенный износ вследствие коррозии конструкционных материалов в условиях агрессивной атмосферы помещений ЖВК.

Основными факторами, влияющими на коррозию машин и оборудования ЖВК являются атмосфера воздуха помещений, вода для поения животных, ферменты и моча животных, навозная жижа и технологическая среда (остатки кормов, подстилочный материал) и др.

Атмосфера животноводческих помещений характеризуется повышенным содержанием влаги, значительной концентрацией агрессивных газов и относительно низкой циркуляцией воздуха, небольшими колебаниями температуры в течение суток.

На влажность воздуха влияет в основном испарение влаги со смоченных поверхностей пола, автопоилок и навозной жижи. Интенсивность испарения зависит от температуры и относительной влажности воздуха (рисунки 1, 2), имеет прямолинейный, а с открытой водной поверхности степенной характер.

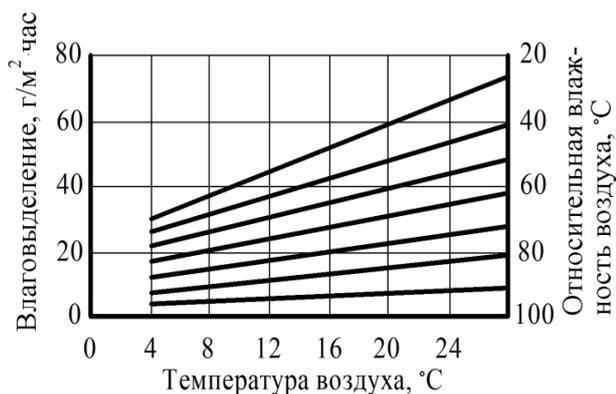


Рисунок 1 – Удельное влаговыделение со смоченных поверхностей пола

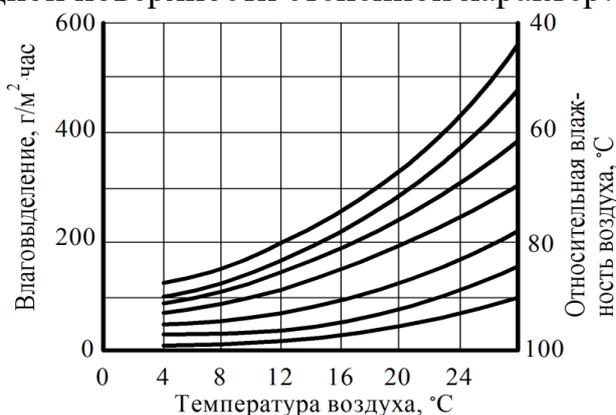


Рисунок 2 – Удельное влаговыделение с открытой водной поверхности

Пары воды выделяются и организмами животных. Например, взрослые свиньи 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.

Определены концентрации вредных компонентов атмосферы воздуха свинарника по временам года, которые представлены в таблице 1. Пробы отбирались 10 дней в каждый месяц в течение года.

Таблица 1 – Среднее наличие вредных составляющих в атмосфере свинарника в зависимости от сезона года

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

Из таблицы 1 видно, что в течение всего года фактическое содержание вредных газов в помещениях на много превышает ПДК.

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. Основными коррозионно-активными компонентами мочи животных и атмосферы помещений по отношению к стали являются сульфаты и хлор-ионы.

При приготовлении кормовых смесей добавляют хлористый натрий. При диссоциации он выделяет хлор-ионы, способствующие точечной (язвенной) коррозии, поэтому одним из способов защиты от коррозии металлоконструкций в атмосфере животноводческих помещений должно быть совершенствование технологии приготовления и раздачи влажных мешанок с целью снижения возможности скопления технологических остатков, которые при их гниении выделяют сероводород, сульфатсодержащие бактерии и аммиак.

На основе проведенного анализ определены основные способы защиты машин и технологического оборудования ЖВК от коррозии в процессе эксплуатации (рисунок 3).

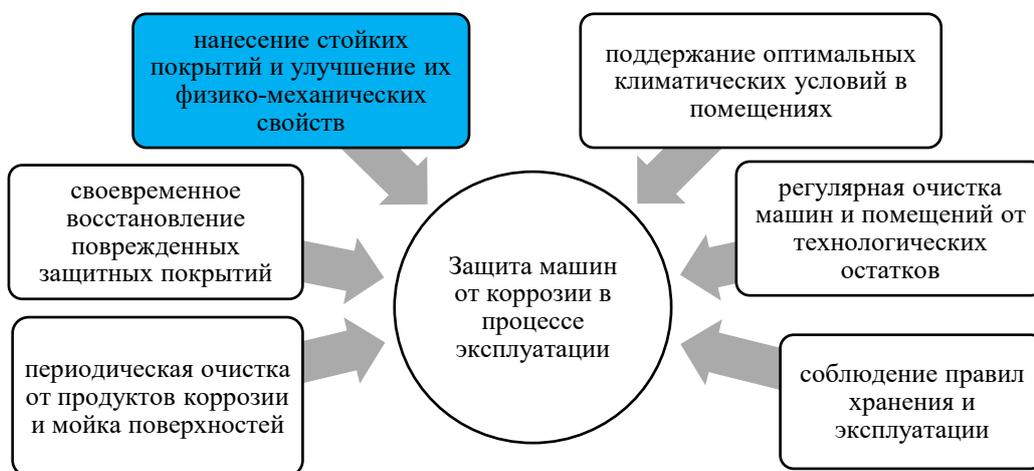


Рисунок 3 – Классификация способов защиты машин и оборудования во время эксплуатации

Из рассмотренных способов и средств защиты от коррозии в условиях эксплуатации следует отдать предпочтение применению стойких ЛКМ и изолирующих материалов, как относительно не дорогих и достаточно надежных средств, и улучшение их физико-механических свойств.

Во второй главе «Теоретическое обоснование совершенствования противокоррозионной защиты машин и оборудования животноводческих комплексов» проведены теоретические исследования коррозии машин и оборудования в условиях помещений ЖВК и улучшения защитных свойств противокоррозионных составов.

Основной задачей, которая решается при защите металлоизделий от коррозии, является уменьшение переноса агрессивной среды в покрытие. 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:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = D \frac{\partial^2 c}{\partial X^2}, \quad (1)$$

$$dQ = p\omega \frac{dp}{dX} d\tau \quad (2)$$

Уравнение (1) относится к не стационарному состоянию потока жидкости с градиентом концентрации $\partial c / \partial \tau$ и позволяет определять величину коэффициента диффузии D , а уравнение (2) – к стационарному состоянию и позволяет определить количество электролита Q , прошедшее через покрытие толщиной X и площадью ω при разности давлений p по обе стороны.

Коэффициент диффузии D зависит от доли свободного объема ψ :

$$D = R \cdot T \cdot A \exp\left(-\frac{B}{\psi}\right) \quad (3)$$

где R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль К);

T – абсолютная температура, К;

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

A – постоянная величина.

На процесс массопереноса оказывают значительное влияние дефекты структуры ЛКП и 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. К действию хлора большинство полимерных материалов неустойчиво.

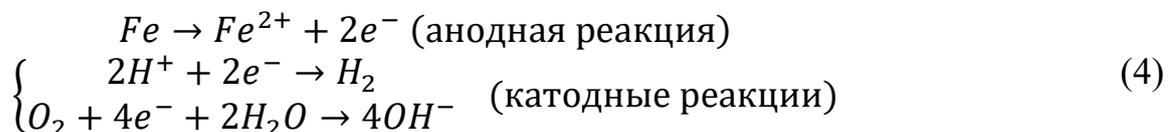
В местах дефекта покрытий агрессивные реагенты достигают поверхности металла, где образуются анодные участки, а вокруг анодного участка под целостным покрытием – катодные зоны и происходит отслаивание и разрушение покрытия.

Последовательность стадий окисления металла под защитной пленкой может быть представлена следующим образом:

- проникновение электролита через ЛКП;
- адсорбция частиц электролита на поверхности металла;

– 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:



В щелях процессы коррозии протекают интенсивнее, чем на открытой поверхности, вследствие наличия в них постоянной влаги. 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.

Одним из способов улучшения защитных свойств противокоррозионных составов является использование ингибиторов в составе коррозионной среды. Кроме формирования на поверхности защищаемого металла не электропроводной пленки ингибитор должен смещать потенциал начала корродирования металла в более положительную зону. В качестве такого ингибитора в работе исследован олигомер Д10ТМ.

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.

В третьей главе «Методика исследований» представлены разработанные методики определения влияния компонентов атмосферы помещений ЖВК на коррозию машин и оборудования, проведения лабораторных и производственных экспериментов по определению противокоррозионных свойств исследуемых композиций гравиметрическим, электрохимическим методами, статистической обработки результатов экспериментов. Для производственных испытаний была разработана методика оценки противокоррозионных свойств вариантов покрытий по разработанным оценочным показателям.

В качестве лабораторных опытных образцов использовались пластины из стали Ст3, стали 45, стали 65Г размером 100×30×2 мм, коррозионных сред – 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, олигомера Д-10ТМ. Компоненты коррозионной среды, моделирующей

атмосферу помещений, составлялись водными растворами соответствующих химических соединений.

Коррозионные потери металла определяли по формуле (5) весовым методом по убыли массы образцов в процессе эксперимента.

$$K = \frac{M_1 - M_2}{P \cdot T} \times 10000 \times 8760, \quad (5)$$

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

P – площадь образца, см²;

T – продолжительность выдержки образцов в электролите, ч.

10000 – коэффициент перевода квадратного метра в квадратные сантиметры;

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

Влагопоглощение покрытий определяли по формуле:

$$B = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \cdot 100\% \quad (6)$$

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

Для определения влияния агрессивных составляющих атмосферы ЖВК и ферм на коррозию деталей машин и оборудования использовали многофакторный эксперимент плана $N = 2^4$.

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 и поляризационные кривые «плотность тока – напряжение поляризации».

В четвертой главе «Результаты лабораторных исследований» предварительно были исследованы составы атмосферы животноводческих помещений: свиарника и коровника (таблица 2).

Таблица 2 – 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.

Результаты исследований коррозионных потерь металлов в имитирующих растворах атмосферы помещений свиарника и коровника представлены на рисунке 3.

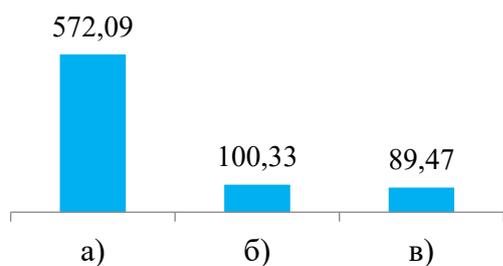


Рисунок 3 – Коррозионные потери стали Ст3, г/м²·мес.:

а) в 3%-м растворе NaCl;

б) в среде, имитирующей атмосферные условия свинарника;

в) в среде, имитирующей атмосферные условия коровника

Методом математического планирования экспериментов через постановку многофакторного эксперимента плана $N=2^4$ исследовалось влияние составляющих атмосферы помещений, фактические концентрации которых приведены в таблице 2, на коррозию конструкционных материалов.

Получено уравнение регрессии, окончательный вид которого после исключения незначимых коэффициентов:

$$y = 1,235 - 0,179x_1 + 0,031x_2 - 0,044x_3 + 0,048x_1x_4 \quad (7)$$

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.

Исследования влияния величины зазора на интенсивность щелевой коррозии Ст3 в атмосфере свинарника (рисунок 4) 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 1,2-1,4 раза выше, чем на открытых поверхностях.

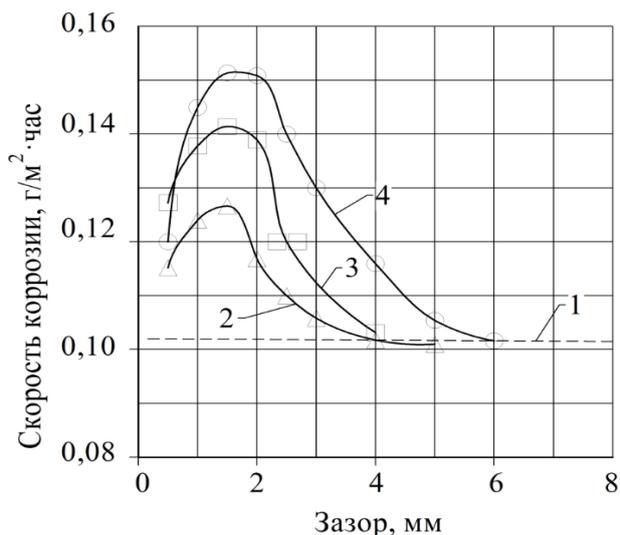


Рисунок 4 – Зависимость скорости коррозии Ст3 от величины зазора в атмосфере свинарника:

1 – открытая поверхность;

2 – щелевая поверхность;

3 – щелевая поверхность при однократном смачивании в сутки;

4 – щелевая поверхность при четырехкратном смачивании в сутки

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.

Смачивание щелевых поверхностей производили по той причине, что 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. Скорость коррозии образцов в этом случае имеет иную характеристику в зависимости от величины зазора и частоты смачивания.

Исследования зависимости коррозионных потерь металлов от времени в атмосфере помещений свиарника и коровника показали, что по коррозионной стойкости исследованные металлы в атмосферных условиях обоих помещений располагаются в следующей последовательности: Сталь 65Г > Сталь 45 > Ст3 (рисунок 5).

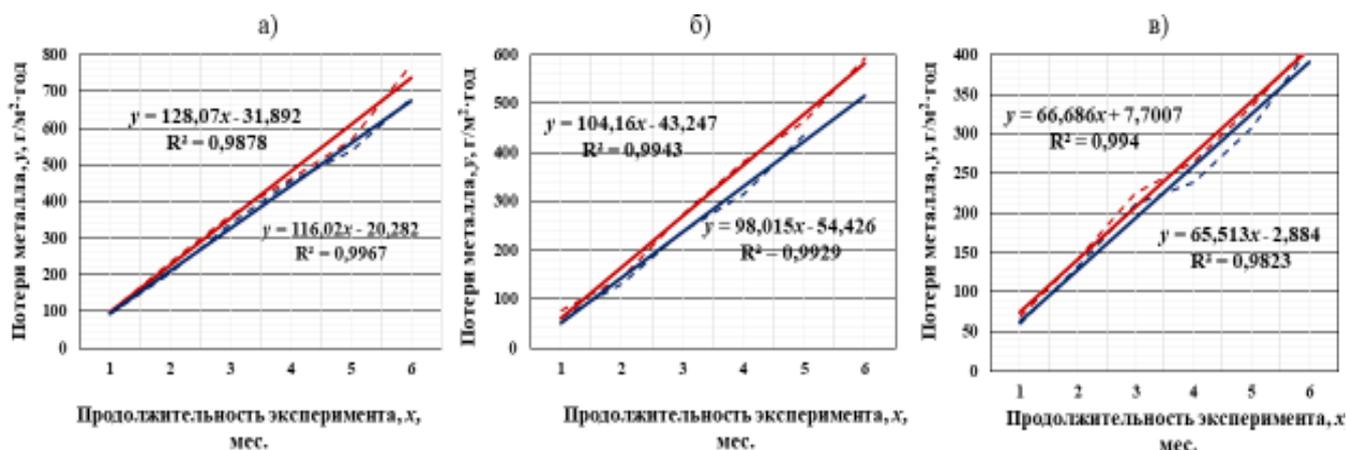


Рисунок 5 – Зависимость коррозионных потерь металлов от времени в атмосфере свиарника (—) и коровника (—):
а) сталь Ст3; б) сталь 45; в) сталь 65Г

Для исследования коррозии металлов в растворах комбикормов (рисунок 6) создавали их насыщенные водные растворы. Из компонентов комбикормов агрессивными по отношению к конструкционным материалам являются сера и хлор. Из перечня аминокислот, входящих в их состав, только лизин может проявлять незначительное ингибирующее действие.

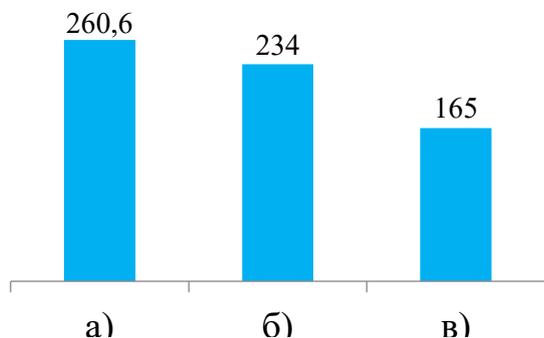


Рисунок 6 – Интенсивность коррозии металлов в насыщенных растворах комбикормов, г/м²·год:
а) – сталь Ст3;
б) – сталь 45;
в) – сталь 65Г

Все исследованные металлы в этой среде не устойчивы к коррозии, о чем свидетельствует смещение их электродных потенциалов в область отрицательных значений (рисунок 7).

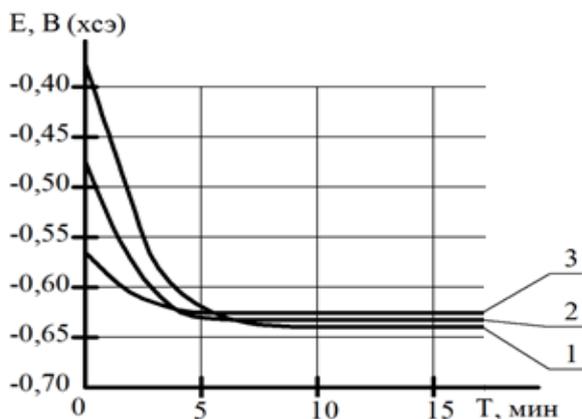


Рисунок 7 – Изменение стационарного потенциала стали Ст3 (1), стали 45 (2), и стали 65Г (3) в водном растворе комбикормов во времени (без аэрации)

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

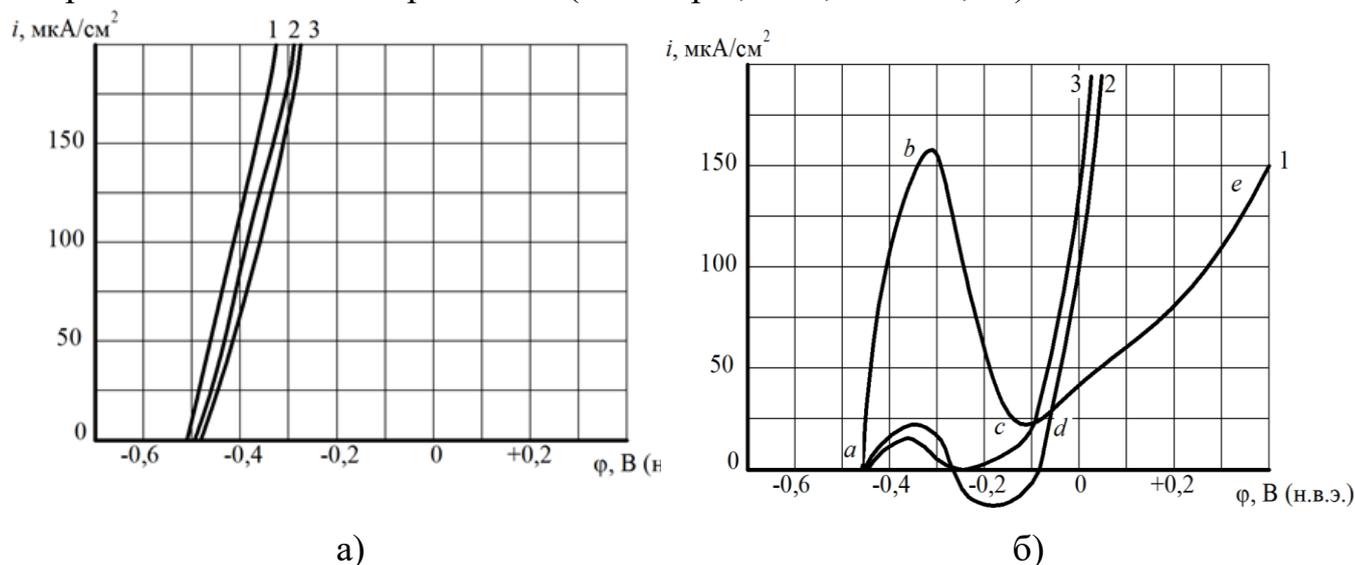


Рисунок 8 – Потенциодинамические поляризационные кривые сталей в водном растворе комбикормов: а) без перемешивания раствора; б) с перемешиванием раствора; 1 – Ст3; 2 – Сталь 45; 3 – Сталь 65Г

Из рисунков 8, а) и 8, б) 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.

Обобщая результаты, можно сделать вывод, что металлы в растворах комбикормов подвержены активному растворению.

Одной из причин ограничения использования битумных составов для защиты машин и оборудования ЖВК и ферм от коррозии являются их недостатки: 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.

Улучшение физико-механических и защитных свойств битумно-бензиновых композиций добавлением различных составов, варианты которых приведены в таблице 3, исследованы изучением степени изменения электродных потенциалов во времени образцов из стали Ст3, покрытых этими составами (рисунок 9), с помощью потенциостата П-5848.

Таблица 3 – Варианты испытываемых составов

№ 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 НГ-203А
4	То же +5% присадки АКОР-1
5	То же +5% олигомер Д-10ТМ

Рациональные концентрации добавок, приведенные в таблице 3, определены по изменению ингибиторных свойств битумно-бензиновых составов в зависимости от концентрации добавок, которое было изучено потенциодинамическим измерением плотности анодного тока при различных значениях потенциала стали 3.

Графики на рисунке 9 свидетельствуют о том, что добавки смещают потенциал начала корродирования стали в более положительную зону. Наиболее предпочтительным из изученных добавок являются присадка АКОР-1 и олигомер Д-10ТМ. Их положительный эффект связан с тем, что при формировании пленки поры в структуре покрытия заполняются присадками.

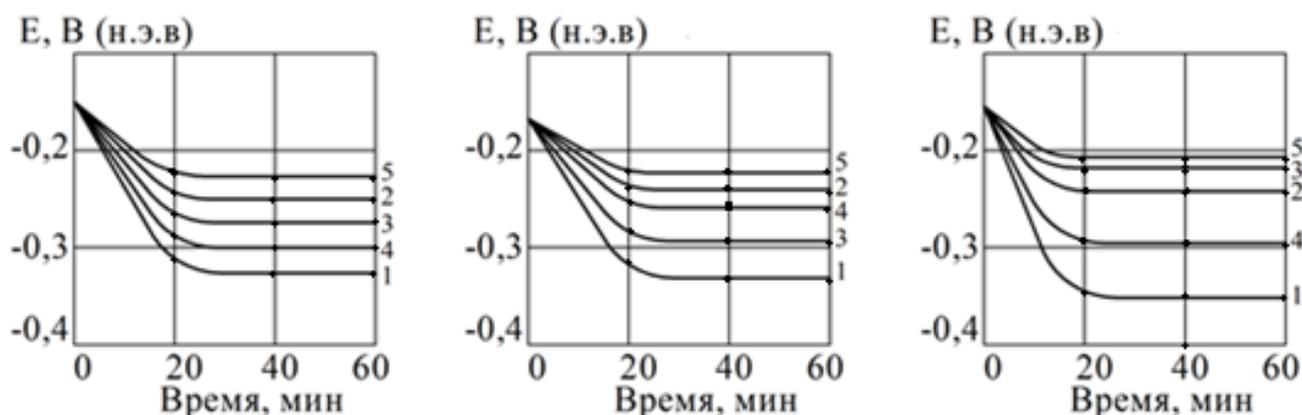


Рисунок 9 – Зависимость изменения во времени стационарного потенциала Ст3 в: а) – в 3%-м растворе хлорида натрия; б) – в насыщенном водном растворе комбикорма ПК-2; в) в насыщенном водном растворе экскрементов свиней:

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

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.

Наибольший эффект достигается при использовании в качестве добавки в битумно-бензиновый состав олигомера Д-10ТМ.

В пятой главе «Результаты производственной проверки разработок и их технико-экономическая оценка» приведены результаты исследования покрытий из битумных композиций в производственных условиях в ООО «Рассвет». Они наносились вертикальными полосами шириной по 100 и

высотой 450 мм с внешней стороны кузова мобильного кормораздатчика по вариантам, приведенным на рисунке 10.

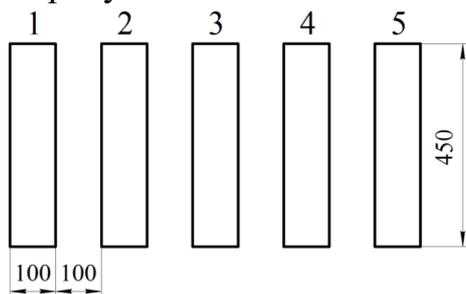


Рисунок 10 – Схема нанесения составов

Периодически покрытия оценивались визуально по следующим показателям:

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

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

Результаты наблюдений (предельные состояния покрытий, после которых требуется их восстановление, т.е. ремонтная окраска) приведены в таблице 4.

Таблица 4 – 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

Из таблицы 4 видно, что покрытие «битумно-бензиновый раствор + Д-10ТМ» имеет срок службы 336 суток, или на 40% больше, чем битумно-бензиновый раствор.

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

$$\mathcal{E}_r = \mathcal{E}_k + \mathcal{E}_c - \mathcal{E}_{зм} + \mathcal{E}_{ср} \quad (9)$$

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

\mathcal{E}_c – 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 свинару и коровнику, используя данные 2020 года по ООО «Рассвет».

Годовой экономический эффект от внедрения разработок составил, руб:

- по свинару на 200 голов: 697152,5 руб.
- по коровнику на 200 голов: 377840 руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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 поверхностный электродный потенциал конструкционного материала 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 свиноводстве 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.

Положения диссертации и полученные результаты отражены в следующих основных публикациях:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.

Публикации в журналах, сборниках научных трудов, материалах научных конференций

5. 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.
6. 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 А. А. Сорокина. – Рязань: Изд-во РГАТУ им. П.А. Костычева, 2021. – С. 171-177.

7. 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 РГАТУ им. П.А. Костычева, 2021. – С. 311-315.

*Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная
Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ №1543 подписано в печать 28.04.2023 г.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Рязанский государственный агротехнологический университет имени
П. А. Костычева»
390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1
Отпечатано в издательстве учебной литературы
и учебно-методических пособий ФГБОУ ВО РГАТУ
390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1*